

Analisis Struktur Baja *Gable Frame* dengan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*)

Solechan¹, Olvi Pamadya Utaya Kusuma², Susilowati³, Inge Anggitasari⁴

¹Universitas Kahuripan Kediri, ²Universitas Kahuripan Kediri, ³Universitas Kahuripan Kediri, ⁴Universitas Kahuripan Kediri

¹solechan@students.kahuripan.ac.id, ²olvikusuma@kahuripan.ac.id, ³susilowati@kahuripan.ac.id,

⁴inge@kahuripan.ac.id

Abstrak

Perkembangan infrastruktur energi di Indonesia menuntut perancangan gudang material PLTD yang aman dan stabil. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja struktur baja gable frame, mengevaluasi kapasitas elemen struktur, serta memastikan kesesuaian terhadap persyaratan kekuatan, stabilitas, dan kemampuan layan berdasarkan SNI terbaru. Metode yang digunakan adalah analisis kuantitatif dengan pemodelan tiga dimensi menggunakan SAP2000 V22 serta penerapan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*) sesuai SNI 1729:2020. Pembebanan mencakup beban mati, hidup, hujan, angin, dan gempa dengan kombinasi LRFD. Hasil analisis menunjukkan simpangan gempa maksimum 98,1 mm di bawah batas izin 120 mm, koefisien stabilitas 0,084 di bawah batas 0,167, dan defleksi rafter 85,44 mm di bawah batas lendutan 95,16 mm. Nilai DCR tertinggi 0,929 pada elemen bracing masih di bawah batas 1,0. Kesimpulannya, struktur baja gable frame dinyatakan memenuhi seluruh persyaratan kekuatan, stabilitas, dan kemampuan layan sesuai ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 1729:2020.

Kata kunci: Steel Structure, Direct Analysis Method, SAP2000.

Abstract:

The development of energy infrastructure in Indonesia demands the design of safe and stable material warehouses for Diesel Power Plant (PLTD) projects. This study aims to analyze the performance of steel gable frame structures, evaluate the capacity of structural elements, and ensure compliance with strength, stability, and serviceability requirements based on the latest SNI standards. The method employed is quantitative analysis using three-dimensional modeling with SAP2000 V22 and the application of the Direct Analysis Method in accordance with SNI 1729:2020. Loadings include dead, live, rain, wind, and earthquake loads with LRFD combinations. The analysis results show a maximum earthquake drift of 98.1 mm below the allowable limit of 120 mm, a stability coefficient of 0.084 below the maximum limit of 0.167, and a maximum rafter deflection of 85.44 mm below the allowable deflection limit of 95.16 mm. The highest DCR value of 0.929 on the bracing element remains below the design limit of 1.0. In conclusion, the steel gable frame structure satisfies all strength, stability, and serviceability requirements in accordance with SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, and SNI 1729:2020.

Keywords: Steel Structure, Direct Analysis Method, SAP2000.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pembangunan infrastruktur energi di Indonesia, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), menuntut ketersediaan fasilitas pendukung yang memadai, termasuk bangunan gudang material [1]. Gudang material pada proyek PLTD berfungsi sebagai tempat penyimpanan komponen struktur, peralatan mekanikal dan elektrik, serta material konstruksi yang memiliki berat dan volume relatif besar. Oleh karena itu, struktur bangunan gudang harus dirancang mampu menahan beban gravitasi dan lateral secara aman, stabil, dan memenuhi persyaratan kemampuan layanan [2].

Perancangan struktur baja di Indonesia mengacu pada SNI 1729:2020 untuk spesifikasi bangunan gedung baja struktural, SNI 1727:2020 untuk pembebanan minimum, dan SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa [3]. SNI 1729:2020 merekomendasikan penggunaan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*) yang mempertimbangkan ketidaksempurnaan struktur, reduksi kekakuan elemen, beban nosional, serta pengaruh efek orde kedua ($P-\Delta$ dan $P-\delta$) dalam evaluasi stabilitas struktur [4].

1.2 Pembatasan Masalah

Analisis dan perancangan struktur mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, serta SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.

- Sistem struktur yang dianalisis berupa portal baja tipe *gable frame* dengan elemen utama terdiri atas kolom, *rafter*, *bracing*, sambungan kolom-*rafter*, dan pelat dasar kolom.

- b. Analisis stabilitas struktur menggunakan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*) sesuai ketentuan SNI 1729:2020.
- c. Pembebanan yang ditinjau meliputi beban mati, beban hidup atap, beban angin, dan beban gempa.
- d. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 V22 dengan pemodelan tiga dimensi.
- e. Analisis gempa dilakukan menggunakan metode gaya lateral ekuivalen dan respons spektrum sesuai ketentuan SNI 1726:2019.
- f. Elemen non-struktural seperti penutup atap, gording, dinding, girt, sagrod, instalasi mekanikal, dan instalasi elektrik tidak dimodelkan secara langsung, tetapi diperhitungkan sebagai beban yang bekerja pada struktur.
- g. Analisis dan perancangan fondasi tidak dibahas dalam penelitian ini kecuali pelat dasar kolom.
- h. Penelitian ini tidak membahas aspek biaya konstruksi, metode pelaksanaan, fabrikasi, maupun manajemen proyek.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja struktur baja *gable frame* pada gudang material Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ditinjau dari simpangan struktur, koefisien stabilitas, dan kemampuan layan berdasarkan analisis menggunakan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*)?
2. Bagaimana kapasitas elemen struktur yang meliputi kolom, *rafter*, *bracing*, sambungan kolom-*rafter*, dan pelat dasar kolom terhadap kombinasi pembebanan yang bekerja berdasarkan SNI 1729:2020?
3. Apakah struktur baja *gable frame* yang dianalisis memenuhi persyaratan kekuatan, stabilitas, dan kemampuan layan sesuai ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 1729:2020?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kinerja struktur baja *gable frame* pada gudang material Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) menggunakan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*).
2. Mengevaluasi kapasitas elemen struktur yang meliputi kolom, *rafter*, *bracing*, sambungan kolom-*rafter*, dan pelat dasar kolom berdasarkan ketentuan SNI 1729:2020.
3. Mengetahui kesesuaian struktur terhadap persyaratan

kekuatan, stabilitas, dan kemampuan layan sesuai standar yang berlaku.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis
Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi dan wawasan mengenai analisis struktur baja *gable frame* menggunakan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*) sesuai ketentuan SNI terbaru.
2. Manfaat Praktis
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam analisis dan evaluasi struktur baja *gable frame* pada bangunan industri dan gudang, khususnya yang menggunakan sistem struktur baja bentang lebar.
3. Manfaat bagi Peneliti
Penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman mengenai penerapan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*), penggunaan perangkat lunak SAP2000, serta proses analisis dan evaluasi struktur baja berdasarkan standar yang berlaku.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

a. Struktur Portal Baja *Gable Frame*

Dari beberapa penelitian, struktur portal baja sistem *gable frame* merupakan salah satu tipe struktur rangka yang banyak diterapkan pada bangunan industri seperti pabrik dan gudang, khususnya pada bangunan yang memerlukan bentang lebar tanpa kolom tengah. Sistem ini terdiri dari elemen kolom dan *rafter* yang membentuk rangka portal dengan kemiringan atap tertentu sehingga mampu menahan beban vertikal maupun lateral secara efisien [5].

b. Penampang Nonprismatis

Pada sistem struktur baja portal *gable frame*, elemen kolom dan *rafter* tidak selalu direncanakan dengan penampang yang memiliki ukuran seragam sepanjang bentangnya [6]. Penampang dengan karakteristik yang tetap sepanjang elemen dikenal sebagai penampang prismatis, di mana nilai luas penampang, momen inersia, serta sifat mekanis lainnya tidak mengalami perubahan [7]. Meskipun sederhana dalam perencanaan, penggunaan penampang prismatis pada bentang panjang sering kali kurang efisien karena tidak menyesuaikan dengan variasi gaya dalam yang terjadi [8]. Beberapa penelitian menunjukkan efektivitas penggunaan penampang nonprismatis pada struktur *gable frame*.

c. Analisis Stabilitas dan Kekuatan Elemen

Dalam perancangan struktur baja, aspek stabilitas struktur harus dipenuhi untuk menjamin keamanan bangunan terhadap pengaruh deformasi, ketidaksempurnaan geometri awal, penurunan kekakuan akibat perilaku inelastis, serta ketidakpastian kekuatan material [9]. Ketentuan ini diatur dalam SNI 1729:2020 yang menekankan pentingnya analisis stabilitas secara menyeluruh pada sistem struktur. Secara umum, terdapat dua pendekatan utama dalam analisis stabilitas struktur baja, yaitu Metode Panjang Efektif (*Effective Length Method*) dan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*) [10].

2.2 Landasan Teori

a. Konsep Pembebanan Struktur Bangunan

Pembebanan struktur merupakan proses penentuan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan selama umur layan, baik yang bersifat permanen maupun sementara. Penentuan beban yang tepat diperlukan agar analisis struktur mampu merepresentasikan kondisi nyata secara rasional dan aman. Beban yang bekerja pada bangunan dapat berasal dari berat sendiri elemen struktur, aktivitas penggunaan ruang, serta pengaruh lingkungan seperti hujan, angin, dan gempa [11].

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung, standar nasional yang digunakan sebagai acuan utama adalah SNI 1727:2020 untuk pembebanan gravitasi dan beban lingkungan, serta SNI 1726:2019 untuk pembebanan gempa. Standar tersebut memberikan kerangka teknis untuk memastikan struktur memiliki tingkat keamanan, keandalan, dan kemampuan layan yang memadai [12]. Beberapa konsep pembebanan dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Beban Mati (D)

Beban mati adalah beban permanen yang berasal dari berat sendiri seluruh komponen struktur dan nonstruktur yang terpasang secara tetap pada bangunan. Beban ini bekerja secara terus-menerus dan relatif tidak mengalami perubahan selama masa layan struktur [13].

2. Beban Hidup (L)

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban hidup pada atap (L_r) dapat dibedakan jenisnya dan terpisah dalam kombinasi pembebanannya. Selain itu, telah diatur pengecualian terhadap beban hidup atap yaitu: beban pada atap yang diakibatkan dari kegiatan pemasangan dan pemeliharaan atap oleh pekerja beserta peralatan dan material yang digunakan serta beban selama masa layan struktur akibat benda atau dekoratif [13].

3. Beban Hujan (R)

Beban hujan adalah beban yang diakibatkan oleh akumulasi air hujan pada permukaan atap

akibat keterbatasan atau kegagalan sistem drainase. Beban ini perlu diperhitungkan terutama pada bangunan dengan bentang atap yang luas atau sistem drainase yang memiliki potensi terhambat [13].

4. Beban Angin (W)

Beban angin merupakan beban lateral yang bekerja pada bangunan akibat pergerakan massa udara di sekitarnya. Beban ini dapat menghasilkan tekanan maupun hisapan pada permukaan dinding dan atap bangunan, tergantung pada arah dan kecepatan angin serta bentuk geometris bangunan [14].

5. Beban Gempa (E)

Beban gempa merupakan gaya inersia yang timbul akibat percepatan tanah selama kejadian gempa bumi. Gaya ini bekerja pada massa struktur dan dapat menyebabkan deformasi serta kerusakan jika tidak diperhitungkan dengan baik dalam perencanaan [14].

6. Kombinasi Pembebanan

Dalam perancangan struktur, beban-beban yang telah ditentukan tidak bekerja secara terpisah, melainkan secara bersamaan dalam berbagai kombinasi. Kombinasi pembebanan disusun untuk merepresentasikan kondisi paling kritis yang mungkin terjadi selama masa layan struktur. Terdapat dua pendekatan utama dalam kombinasi pembebanan, yaitu desain berbasis faktor beban *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dan desain berbasis tegangan izin *Allowable Stress Design* (ASD). Pemilihan metode kombinasi disesuaikan dengan jenis struktur, lokasi elemen, serta pendekatan perancangan yang digunakan. Kombinasi pembebanan yang tepat memastikan bahwa struktur memiliki faktor keamanan yang cukup terhadap seluruh kemungkinan kondisi pembebanan [3].

7. Pertimbangan Kemampuan Layan

Dalam evaluasi kemampuan layan, digunakan kombinasi pembebanan yang mencerminkan kondisi penggunaan normal bangunan, sehingga struktur tetap berfungsi dengan baik tanpa mengalami gangguan berarti selama masa layan. Berdasarkan SNI 1727:2020 Lampiran CC diperlukan pertimbangan terhadap kemampuan layan struktur [10].

b. Perancangan Struktur Baja

1. Klasifikasi Penampang

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal B4.1, komponen struktur yang mengalami gaya tekan aksial memiliki penampang yang dapat diklasifikasikan sebagai penampang dengan

elemen langsing dan elemen nonlangsing. Rasio lebar terhadap tebal untuk klasifikasi elemen tekan yang ditentukan sebagai elemen langsing (λ_r).

2. Perancangan Elemen Tekan

Perhitungan kekuatan tekan juga mempertimbangkan kelangsingan elemen, panjang efektif, serta sifat material baja yang digunakan. Elemen dengan kelangsingan tinggi memerlukan perhatian khusus karena lebih rentan terhadap kegagalan tekuk. Berdasarkan SNI 1729:2020 Bab E, kekuatan tekan rancangan (P_c) untuk elemen struktur tekan berdasarkan kombinasi pembebanan LRFD.

3. Perancangan Elemen Lentur

Elemen lentur dirancang berdasarkan kapasitas nominal terhadap momen lentur dengan mempertimbangkan keadaan batas leleh, tekuk torsi lateral, dan tekuk lokal. Kapasitas lentur elemen sangat dipengaruhi oleh kondisi pengekangan lateral serta bentuk penampang. Penentuan panjang tidak terkekang lateral menjadi faktor penting dalam memastikan bahwa elemen lentur memiliki kapasitas yang cukup terhadap tekuk torsi lateral.

4. Perancangan Elemen Geser

Perancangan elemen geser dilakukan dengan memastikan bahwa kapasitas geser nominal elemen lebih besar dari gaya geser yang bekerja. Pada elemen dengan pelat badan yang relatif tipis, perlu diperhitungkan kemungkinan terjadinya tekuk geser dan aksi medan tarik.

5. Perancangan Stabilitas dan Stabilitas Struktur

Berdasarkan SNI 1729:2020 Bab C, seluruh struktur baja wajib memenuhi persyaratan stabilitas dengan memperhitungkan pengaruh deformasi struktur, efek orde dua ($P-\delta$ dan $P-\Delta$), ketidaksempurnaan geometri awal, reduksi kekakuan akibat perilaku inelastis, serta ketidakpastian kekuatan dan kekakuan sistem struktur.

6. Perancangan Sambungan Baut Berdasarkan SNI 1729:2020

Sambungan baut dirancang untuk menahan gaya tarik, geser, maupun kombinasi keduanya. Penentuan jarak antar baut, jarak baut ke tepi pelat, serta kapasitas nominal baut dilakukan untuk memastikan sambungan tidak mengalami kegagalan tarik, geser, tumpu, atau sobek.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dalam skripsi dilakukan mulai tahun 2025 di proyek Pembangkit Listrik Tenaga Diesel yang berlokasi di Portsita, Amamapare, Kec. Mimika Tim. Kabupaten Mimika, Papua 99971.

3.2 Metode, Rancangan dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis dan perancangan struktur baja dengan pendekatan kuantitatif berbasis perhitungan teknik. Analisis dilakukan terhadap struktur baja tipe *gable frame* pada gudang material Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan mengacu pada SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 1729:2020. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 V22 dengan menerapkan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*).

Prosedur penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori, standar perencanaan, dan penelitian terdahulu yang relevan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data teknis struktur yang meliputi data geometri, data material, dan data pembebanan. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan SAP2000 V22.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pengumpulan data primer dan data sekunder yang digunakan sebagai dasar dalam proses pemodelan, analisis, dan perancangan struktur baja *gable frame*.

a. Data Primer

Data primer diperoleh dari dokumen teknis dan gambar perencanaan gudang material PLTD yang digunakan sebagai objek penelitian. Data tersebut meliputi dimensi bangunan, konfigurasi struktur, jenis penampang, dan mutu material

b. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui studi literatur yang meliputi standar perencanaan, buku referensi, jurnal ilmiah, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan struktur baja *gable frame* dan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*).

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

a. Pemodelan struktur baja *gable frame* menggunakan SAP2000 V22.

b. Pemilihan profil penampang awal untuk elemen kolom, *rafter*, dan *bracing*.

- c. Penentuan pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup, beban hujan, beban angin, dan beban gempa.
- d. Penyusunan kombinasi pembebanan metode LRFD.
- e. Analisis struktur menggunakan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*).
- f. Pemeriksaan kapasitas profil berdasarkan gaya dalam hasil analisis.
- g. Pemeriksaan kinerja struktur yang meliputi deformasi, stabilitas, dan kemampuan layan.
- h. Apabila kapasitas profil atau kinerja struktur belum memenuhi persyaratan, dilakukan penyesuaian profil dan analisis ulang.
- i. Analisis elemen struktur yang meliputi kolom, *rafter*, *bracing*, sambungan kolom-*rafter*, dan pelat dasar kolom.
- j. Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan perancangan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kinerja Struktur

Kinerja dari permodelan perancangan struktur baja menggunakan perangkat lunak SAP2000 V22 diperiksa hasil analisisnya terhadap beberapa parameter umum seperti berat struktur dan frekuensi natural serta parameter kinerja struktur sesuai dengan standar perancangan yang digunakan yaitu SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 1729:2020 sebagai berikut.

a. Berat struktur

Dalam perancangan terhadap struktur digunakan berat struktur yang ringan sebesar 329,0 kN atau 24,7%. Namun penting juga untuk diperhatikan parameter lainnya terutama terhadap kekakuan struktur.

b. Frekuensi natural struktur

Frekuensi natural struktur merupakan salah satu parameter yang dapat menunjukkan fleksibilitas struktur. Dengan demikian struktur perlu untuk dicek terhadap parameter lainnya terutama defleksi struktur.

c. Metode kombinasi ragam

Metode kombinasi ragam yang digunakan dalam permodelan menggunakan asumsi kombinasi metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of the Squares*, SRSS). Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.3 jika menggunakan metode kombinasi ragam SRSS maka periode ragam memiliki nilai berjauhan (ditetapkan selisih lebih dari 15%) hingga memenuhi syarat.

d. Partisipasi massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 disyaratkan jumlah ragam yang cukup untuk partisipasi massa gempa 100% massa struktur. Namun diberikan alternatif memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai partisipasi massa dalam gaya gempa setidaknya 90% massa struktur pada masing-masing arah ortogonal struktur. Berdasarkan hasil analisis permodelan menggunakan perangkat lunak didapatkan partisipasi massa 90% untuk kedua arah tercapai pada Ragam 144 untuk Model 1 dan Ragam 103 untuk Model 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.

e. Skala beban geser dasar gempa dinamik

Mengacu SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 disyaratkan beban gempa analisis ragam respons spektrum harus lebih atau sama dengan ($\geq 100\%$) beban gempa yang dihitung dengan menggunakan metode analisis gaya lateral ekuivalen. Setelah dilakukan analisis awal permodelan untuk perbandingan gaya gempa didapatkan hasil sebagai Tabel 1 berikut.

TABEL 1
PENGECEKAN GAYA GESER DASAR GEMPA AWAL

Arah	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen (EQ) [kN]	Analisis Ragam Respons Spektrum (RS) [kN]
x	254,334	102,991
y	236,168	139,702

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

Sehingga dicari faktor skala pembesaran beban gempa dinamik sebagai berikut.

- Skala x: $254,334 / 102,991 = 2,469$
- Skala y: $236,168 / 139,702 = 1,691$

Setelah dilakukan analisis lanjutan menggunakan skala pembesaran beban gempa dinamik, didapatkan hasil beban gempa untuk metode analisis beban gempa lateral sebagai Tabel 2 berikut.

TABEL 2
PENGECEKAN BEBAN GESER DASAR GEMPA LANJUTAN

Arah	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen (EQ) [kN]	Analisis Ragam Respons Spektrum (RS) [kN]	Rasio [%]
x	254,334	254,337	100,0
y	236,168	236,17	100,0

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

Rasio beban geser dasar gempa dinamik terhadap statik sudah mencapai 100,0% sehingga memenuhi persyaratan.

f. Pengecekan simpangan akibat beban gempa

Pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 diatur simpangan izin menurut jenis struktur dan kategori risiko gempa dengan tinggi kolom 8 m didapatkan simpangan izin sebagai berikut.

Δ_{a1} (Struktur lainnya, Kategori Risiko Gempa III)

$$\Delta_{a1} = 0,015 \times 8.000 = 120 \text{ mm.}$$

Simpangan rancangan dihitung dan didapatkan hasil analisis simpangan beban gempa permodelan struktur terhadap simpangan izin pada Tabel 3 berikut.

TABEL 3
SIMPANGAN BEBAN GEMPA

Arah	Joint	Kombinasi	δeI [mm]	ΔI [mm]	Rasio [%]
x	108	169. 1,2 D + Ev + 0,3 RSx + RSy + L	5,52	14,35	12
y	197	169. 1,2 D + Ev + 0,3 RSx + RSy + L	40,87	98,1	81,7

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

- Simpangan arah x: $\Delta_{lx} = \delta_{elx} (C_{dy}/I_e)$
 $= 5,52 \times (3,25/1,25) = 14,35 \text{ mm}$
- Rasio terhadap simpangan izin arah x: Rasio
 $= \Delta_{lx} / \Delta_Q = 14,35/120 = 12,0\%$
- Simpangan arah y: $\Delta_{ly} = \delta_{ely} (C_{dy}/I_e) =$
 $40,87 \times (3/1,25) = 98,10 \text{ mm}$
- Rasio terhadap simpangan izin arah y: Rasio $= \Delta_{ly} / \Delta_Q = 98,10/120 = 81,7\%$

g. Pengecekan stabilitas akibat gempa

SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7 mengatur koefisien stabilitas struktur akibat gempa (θ) sehingga didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

TABEL 4
ANALISIS KOEFISIEN STABILITAS STRUKTUR BEBAN GEMPA

Arah	Px [kN]	Vx [kN]	ΔI [mm]	θ	Rasio [%]	Efek P-Delta
x	3902,68	79,22	14,35	0,034	22,1	Diabaikan ($\theta < 0,1$)
y	3902,68	237,55	98,1	0,084	50,4	Diabaikan ($\theta < 0,1$)

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

$$\text{Koefisien stabilitas maksimum arah x: } \theta_{x \text{ maks}} = \frac{0,5}{1,0 \times 3,25} = 0,154 \leq 0,25$$

$$\text{Koefisien stabilitas maksimum arah y: } \theta_{y \text{ maks}} = \frac{0,5}{1,0 \times 3,0} = 0,167 \leq 0,25$$

- Koefisien stabilitas arah x: $\theta_x =$
 $\frac{3.902,68 \times 14,35 \times 1,25}{79,22 \times 8.000 \times 3,25} = 0,034$
- Rasio terhadap koefisien stabilitas maksimum arah x:
 $\text{Rasio} = \frac{\theta_x}{\theta_{x \text{ maks}}} = \frac{0,034}{0,154} = 22,1\%$
- Koefisien stabilitas arah y: $\theta_y =$
 $\frac{3.902,68 \times 98,10 \times 1,25}{237,55 \times 8.000 \times 3,0} = 0,084$
- Rasio terhadap koefisien stabilitas maksimum arah y:
 $\text{Rasio} = \frac{\theta_y}{\theta_{y \text{ maks}}} = \frac{0,084}{0,167} = 50,4\%$

h. Pengecekan analisis stabilitas Metode Analisis Langsung

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal C2, penambahan beban nosional (N_i) untuk ketidaksempurnaan struktur diizinkan hanya ditambahkan pada kombinasi pembebanan gravitasi saja yaitu:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 Lr
3. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R
4. 1,2 D + 1,6 Lr + L
5. 1,2 D + 1,6 R + L

Setelah dilakukan analisis permodelan didapatkan hasil yang diperlihatkan pada Tabel 5 berikut.

TABEL 5
ANALISIS SIMPANGAN ORDE 1 DAN ORDE 2

Arah	δeI [mm]	ΔI [mm]	δeII [mm]	ΔII [mm]	Rasio Simpangan
x	4,86	0,00061	5,5	0,00069	1,14
y	36,02	0,0045	40,9	0,00511	1,13

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

- Simpangan orde satu arah x: $\Delta_{lx} = \frac{4,86}{8.000} = 0,00061$
- Simpangan orde dua arah x: $\Delta_{llx} = \frac{5,52}{8.000} = 0,00069$
- Rasio simpangan antar orde arah x:
 $\text{Rasio} = \frac{\Delta_{llx}}{\Delta_{lx}} = \frac{0,00069}{0,00061} = 1,13 < 1,7$
- Simpangan orde satu arah y: $\Delta_{ly} = \frac{36,02}{8.000} = 0,00450$
- Simpangan orde dua arah y: $\Delta_{lly} = \frac{40,87}{8.000} = 0,00511$
- Rasio simpangan antar orde arah x:
 $\text{Rasio} = \frac{\Delta_{lly}}{\Delta_{ly}} = \frac{0,00511}{0,00450} = 1,14 < 1,7$

Didapatkan rasio simpangan antar orde pada masing-masing arah x dan y kurang dari 1,7 sehingga asumsi awal yaitu beban nosional (N_i) hanya ditambahkan pada kombinasi pembebanan gravitasi memenuhi persyaratan Pasal C2.

i. Pengecekan stabilitas kemampuan layan struktur baja

SNI 1727:2020 Lampiran CC mengatur pertimbangan terhadap kemampuan layan struktur. Salah satu parameter yang perlu diperiksa untuk kemampuan layan struktur adalah defleksi vertikal *Rafter* atau kuda-kuda atap. Menurut Pasal CC.2.1 defleksi vertikal izin diatur menggunakan Persamaan sebagai berikut.

$$\text{Defleksi vertikal izin Rafter: } \delta_{v \text{ izin}} = 1/240 L = 1/240 \times 22,837,74 = 95,16 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan rasio defleksi vertikal maksimum

Rafter terhadap defleksi vertikal izin *Rafter* sebagai berikut.

$$\text{Rasio defleksi vertikal Rafter: Rasio} = \frac{\delta v \text{ maks}}{\delta v \text{ izin}} = \frac{85,442}{95,16} = 89,8\%$$

Parameter lainnya yang perlu diperiksa adalah defleksi horizontal kolom terhadap kombinasi beban layan. Defleksi horizontal izin diatur dalam Pasal CC.2.2 menggunakan tinggi struktur atau tingkat sehingga didapatkan berikut.

$$\text{Defleksi vertikal izin Rafter: } \delta_h \text{ izin} = 1/400 h_{sx} = 1/400 \times 8,000 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Rasio defleksi horizontal kolom arah x: Rasio} = \frac{\delta h x \text{ maks}}{\delta h \text{ izin}} = \frac{3,107}{20} = 15,5\%$$

$$\text{Rasio defleksi horizontal kolom arah y: Rasio} = \frac{\delta h y \text{ maks}}{\delta h \text{ izin}} = \frac{14,761}{20} = 73,8\%$$

4.2 Hasil Perancangan Struktur Baja

Perancangan struktur baja 3 dimensi dengan konfigurasi portal baja *Gable Frame* dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan yang dilakukan seperti melakukan pengecekan kinerja permodelan struktur terhadap standar dan peraturan yang berlaku, mengecek kapasitas seluruh penampang profil baja yang digunakan terhadap standar perancangan yang digunakan, serta melakukan perhitungan perancangan elemen struktur.

4.3 Ringkasan Perancangan Struktur Baja

Berdasarkan hasil analisis permodelan struktur untuk kinerja struktur secara keseluruhan, didapatkan sebagai Tabel 6 berikut.

TABEL 5
RINGKASAN HASIL PERANCANGAN ELEMEN STRUKTUR BAJA

Parameter	SAP2000 V22 [%]	SNI 1729:2020 [%]	Selisih [%]
Kolom Tengah (HSS 267,3.6) DCR Aksial-Lentur Kolom	67,3	67,4	0,1
Kolom Samping (H 300-400.300.10.16) DCR Aksial-Lentur Kolom	59,9	58,9	1
Kolom Sudut (H 300-400.300.10.16) DCR Aksial-Lentur Kolom DCR Torsi	3,1 -	3,05 0,75	0,05 -
Rafter (I 600-500-800.300.10.16) DCR Aksial-Lentur	88,2	88,2	0

DCR Geser Sumbu Kuat	17,4	17,5	0,1
DCR Geser Sumbu Lemah	0,9	1,8	0,9
Sambungan Baut Kolom-Rafter			
DCR Tarik Baut	-	82	-
DCR Geser Baut	-	14,4	-
Interaksi Tarik-Geser	-	-	-
DCR Tumpu Lubang Baut	-	5,4	-
DCR Sobek Lubang Baut	-	3,9	-
Bracing (2 L 80.80.8)			
DCR Aksial	91,8	92,9	1,1
Sambungan Pelat Dasar Kolom			
DCR Tumpu Beton	-	8,8	-
DCR Lentur Pelat Dasar	-	33,5	-
DCR Geser Permukaan Beton	-	47,4	-
DCR Geser Baut	-	36,6	-
DCR Tumpu Lubang Baut	-	5,4	-
DCR Sobek Lubang Baut	-	3,1	-

Sumber: Hasil pengolahan data, 2026.

Berdasarkan Ringkasan pada Tabel 5 di atas, hasil DCR antara analisis perangkat lunak dengan perhitungan SNI 1729:2020 tidak berbeda jauh dengan rentang selisih dari 0,1% sampai dengan 1,1%. Meskipun terhitung selisih yang cukup kecil, perhitungan SNI 1729:2020 penting untuk dilakukan dengan tujuan memastikan perancangan elemen struktur benar-benar sesuai dengan asumsi-asumsi perancangan yang digunakan. Selisih dapat terjadi karena beberapa hal, seperti akurasi perhitungan, perbedaan asumsi perancangan antara permodelan struktur dengan perancangan, dan beberapa elemen perancangan seperti pengaku transversal pada kekuatan geser *rafter*, jarak antar sambungan elemen komposit penampang 2L, dan lainnya yang tidak dapat ikut dimodelkan dapat menyebabkan perbedaan hasil analisis perhitungan perancangan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perancangan struktur baja *gable frame* pada gudang material PLTD menggunakan SAP2000 V22 dengan Metode Analisis Langsung (*Direct Analysis Method*), diperoleh simpulan sebagai berikut:

Kinerja struktur baja *gable frame* pada gudang material PLTD memenuhi persyaratan stabilitas dan kemampuan layan. Simpangan maksimum akibat gempa sebesar 98,1 mm, masih berada di bawah batas izin sebesar 120 mm sesuai SNI 1726:2019 atau sebesar 81,7% dari batas yang diizinkan. Koefisien stabilitas maksimum (0) sebesar 0,084, masih berada di bawah

batas maksimum sebesar 0,167 sesuai SNI 1726:2019 atau sebesar 50,4% dari batas yang diizinkan. Selain itu, defleksi maksimum *rafter* sebesar 85,44 mm, masih berada di bawah batas lendutan izin sebesar 95,16 mm ($L/240$) sesuai SNI 1727:2020 atau sebesar 89,8% dari batas yang diizinkan.

Kapasitas elemen struktur yang meliputi kolom, *rafter*, *bracing*, sambungan kolom-*rafter*, dan pelat dasar kolom memenuhi persyaratan kekuatan berdasarkan SNI 1729:2020. Hasil pemeriksaan menunjukkan seluruh elemen memiliki nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) kurang dari 1,0, dengan nilai DCR terbesar sebesar 0,929 pada elemen *bracing*, sehingga seluruh elemen struktur dinyatakan aman terhadap kombinasi pembebanan yang bekerja.

Struktur baja *gable frame* yang dianalisis memenuhi persyaratan kekuatan, stabilitas, dan kemampuan layan sesuai ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 1729:2020. Hasil verifikasi antara SAP2000 V22 dan perhitungan berdasarkan SNI 1729:2020 menunjukkan selisih sebesar 0,1%–1,1%, sehingga hasil analisis dinilai akurat dan dapat digunakan dalam perencanaan struktur baja *gable frame*.

REFERENSI

- [1] R. A. Nugraha, M. Dzikron, and B. S. U. Prawiraharjo, "Analisis Yuridis Implementasi Keselamatan Ketenagalistrikan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel: Perubahan Regulasi dari Izin Operasi Ke IUPTLS dan Implikasi Hukumnya Bagi Perusahaan," *Knowl. Sustentive Order, Litigation, Decree, Arbitr. Statut. Imp.*, vol. 1, no. 1, pp. 37–54, 2025.
- [2] S. T. Ragil Purnamasari, S. T. Naura Firdausi, and P. G. Ir Akhmad Yusuf Zuhdy, *KONSTRUKSI GEDUNG: Integrasi Metode dan Perhitungan Alat Berat*. Penerbit Andi, 2025.
- [3] M. Khozi and A. I. Rizaldhy, "Perbandingan Struktur Gedung Perkantoran BPR Delta Artha Dengan Desain Beban Gempa Statis Dan Dinamis Berdasarkan SNI 1729-2020," *Inter Tech*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2023.
- [4] M. H. Fadli Lubis and J. Taringan, "Analisis Stabilitas Steel Modular Scaffolding (Perancah Baja) Pada Pekerjaan Bangunan Struktur Tailrace Surgetank Di Proyek Pembangunan PLTA Asahan 3.," *J. Syntax Admiration*, vol. 4, no. 2, p. 165, 2023.
- [5] Y. Ibrahim, "Perencanaan Struktur Atap Gudang Material PT. Uxxx Menggunakan Profil Baja Dengan Metode Load And Resistance (LRFD)," 2025, *UNIVERSITAS GRESIK*.
- [6] T. M. Wicaksono *et al.*, "ANALISIS Kajian Struktur Desain Terhadap Mutu Existing Pada Penampang Non Prismatic Gable Frame PT. Unimotor Technology Indonesia," *Wahana Tek. Sipil J. Pengemb. Tek. Sipil*, vol. 31, no. 1, pp. 115–129, 2026.
- [7] Y. P. A. Rumbyarso, M. M. ST, and M. T. MH, *BUKU AJAR MEKANIKA BAHAN*. Penerbit Widina, 2025.
- [8] I. A. Wibowo and M. Kom, *RANCANG BANGUN TEKNIK JEMBATAN JILID 3*. yayasan penerbit, 2026.
- [9] O. Yendri, "Sifat Dan Bentuk Baja," *Strukt. Baja*, vol. 40, 2024.
- [10] A. Rifai, M. Taufiq, and A. L. Nurdin, "Analisis Rangka Batang Atap Stadion Sesuai Sni 1726: 2019, Sni 1727: 2020 Dan Sni 1729: 2020 Metode Dfht (Studi Kasus: Struktur Atap Stadion Capar, Desa Capar, Kec. Jatinegara, Kab. Tegal, Jawa Tengah)," *Era Sains J. Penelit. Sains, Ketechnikan Dan Inform.*, vol. 3, no. 3, pp. 41–52, 2025.
- [11] M. Y. Fayyad, "Analisis Kinerja Struktur Bangunan 10 Lantai Dan 2 Lantai Basement Menggunakan Metode Pushover (Studi Kasus)," 2026, *Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara*.
- [12] F. Felny, "The Structural Performance Analysis of The BPJN Bengkulu Office Building Using The Response Spectrum Method Based on SNI 1726: 2019," *J. Civ. Eng. Plan.*, vol. 6, no. 2, pp. 188–199, 2025.
- [13] F. Rahmi, I. Idrus, and Z. A. Halim, "Analisis Quantity Take Off Berbasis BIM 5D Pada Pekerjaan Struktur Beton Bangunan Bertingkat Studi Kasus SMK-SMAK Makassar," *J. Mahakarya Konstr.*, vol. 3, no. 1, pp. 207–217, 2026.
- [14] R. W. DJ, S. Musdalifah, and Z. A. Halim, "Evaluasi Efektivitas Penggunaan Base Isolation dan Fixed Base dalam Mereduksi Respon Seismik pada Struktur Gedung di Wilayah Mamuju," *J. Mahakarya Konstr.*, vol. 3, no. 1, pp. 185–191, 2026.