

Evaluasi Numerik Kekuatan Struktur Baja Gable Frame Dengan Rafter WF Lurus Terhadap Beban Seismik

Taufik Ramlan Wijaya¹, Kumala Chandra Yuga S^{*2}

^{1,2}Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta Selatan

e-mail: ¹taufik_ramlan@istn.ac.id, ^{*2}kumalachandra1010@gmail.com.

Abstract

The structural performance of straight WF rafter gable frames with spans of 16 m and 24 m under static and seismic loadings according to SNI 1726:2019 was conducted in this study. The numerical analysis used solid finite elements provided in ANSYS by focusing on deformation, drift ratio, maximum stress, and stress ratio (SR). The results indicate that for the 16 m span, the straight WF rafters remain within strength and serviceability limits with drift ratios of 0.237–0.285% and maximum stresses of 244.64–279.77 MPa. However, for the 24 m span, deformation increases to drift ratios of 0.421–0.442% and stresses of 232.95–259.95 MPa, causing some models to exceed the SNI limit and the yield strength limitation (SR > 1). Therefore, in earthquake-sensitive areas, straight WF rafters are recommended only for gable frames with short to medium spans. Meanwhile longer spans require modified profiles or alternative structural systems to satisfy strength and serviceability criteria.

Keywords: steel gable frame, straight wide flange rafter, deformation, drift ratio, stress ratio

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja struktur gable frame baja WF lurus pada bentang 16 m dan 24 m terhadap beban statis dan gempa berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis numerik dilakukan menggunakan elemen hingga solid yang tersedia dalam perangkat lunak ANSYS, dengan meninjau deformasi, drift ratio, tegangan maksimum, dan stress ratio (SR). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada bentang 16 m, rafter WF lurus masih memenuhi batas layan aman dengan drift ratio 0,237–0,285% dan tegangan

maksimum 244,64–279,77 MPa. Namun, pada bentang 24 m terjadi peningkatan deformasi hingga drift ratio 0,421–0,442% serta tegangan maksimum 232,95–259,95 MPa, yang mengakibatkan beberapa model melampaui batas izin SNI maupun kapasitas leleh baja (SR > 1). Dengan demikian, penggunaan rafter WF lurus hanya direkomendasikan untuk gable frame bentang pendek hingga menengah, sedangkan untuk bentang panjang diperlukan modifikasi profil atau sistem struktural alternatif agar dapat memenuhi persyaratan kekuatan dan batas layan.

Kata Kunci: gable frame baja, rafter WF lurus, deformasi, drift ratio, stress ratio.

PENDAHULUAN

Struktur kerangka pelana (*gable frame*) adalah struktur rangka kaku dengan sisi miring yang menjulang membentuk punggungan segitiga di bagian atas. Struktur ini merupakan salah satu pilihan utama dalam pembangunan bangunan industri dan komersial berbentang lebar seperti gudang (*warehouse*), pabrik, dan hanggar. Sistem struktur umum ini mencakup kolom vertikal dan kasau (*rafter*) miring, yang jika dikombinasikan dengan penyangga lutut (*knee braces*) atau penopang (*haunches*), memberikan stabilitas dan menopang berbagai beban pada bentang yang besar.

Keunggulan sistem ini terletak pada kesederhanaan konstruksi, efisiensi material, dan kemampuannya menahan beban atap serta beban lateral secara efektif. Namun demikian, pilihan akan profil penampang rafter sangat memengaruhi perilaku struktural suatu gable frame dalam hal deformasi dan distribusi tegangan. Termasuk pula kemampuan dalam memenuhi kriteria batas kekuatan (*strength*) dan layanan (*serviceability*) sesuai dengan ketentuan pembebanan statis (SNI 1727:2020) maupun dinamis/gempa (SNI 1726:2019).

Terdapat tiga tipe profil baja yang lazim digunakan untuk *rafter* suatu *gable frame*, yaitu profil *wide flange* (WF) lurus, profil *wide flange* (WF) lengkung, dan profil *honeycomb*. Tidak hanya itu, *rafter* dari suatu *gable frame* juga adakalanya menggunakan sistem rangka batang (*truss*). Masing-masing tipe/sistem memiliki karakteristik, keunggulan dan keterbatasannya sendiri.

Suhendi *et al.* (2020) mendapatkan bahwa penggunaan profil kastela (*honeycomb*) dapat lebih efisien dari sisi anggaran biaya dari pada profil konvensional, yaitu balok *wide flange* (WF). Hal tersebut terjadi karena profil *honeycomb* memiliki berat yang lebih ringan dari pada profil WF. Tidak hanya itu, profil *honeycomb* juga efektif dalam menambah kekuatan dan kekakuan struktur tanpa menambah berat profil. Namun, secara khusus, bobot sistem rangka batang terbukti lebih ringan dari pada tipe *rafter* lainnya (Ihsanuddin dan Buwono, 2013). Profil melengkung sering dipilih karena aspek arsitektural, meskipun lebih rentan terhadap deformasi lateral yang besar.

Terkait dengan kemiringan atap struktur *gable frame*, Pandjaitan, *et al.* (2023) mendapatkan bahwa *gable frame* baja dengan kemiringan atap 30° mengalami gaya internal terendah dan menghasilkan luas penampang terkecil untuk *rafter* dan kolom. Lebih lanjut, efek puntiran juga sangat minimal pada semua struktur *gable frame*. Investigasi pada tiga model dengan kemiringan berbeda menunjukkan bahwa sudut 30° menunjukkan kinerja terbaik dibandingkan kemiringan 10° dan 20° . Namun, Arini, *et al.* (2025) mengungkapkan bahwa besaran gaya aksial dan gaya geser pada kolom paling efisien pada sudut 15° . Mereka mengkaji perubahan kemiringan mulai dari 5° sampai dengan 20° .

Analisis struktur *gable frame* terhadap pembebanan statis memang menunjukkan bahwa profil balok kastela (*honeycomb*) merupakan profil yang paling efektif dalam menahan beban dan bahkan cocok untuk bentang panjang. Namun demikian, Indonesia termasuk dalam kawasan berisiko seismik tinggi. Hal tersebut menuntut adanya evaluasi komprehensif pengaruh beban statis dan juga dinamis (seismik) terhadap kinerja struktur baja, termasuk dalam hal ini adalah struktur *gable frame* yang akan didirikan di tempat-tempat yang rentan terhadap bencana gempa

bumi. Sayangnya, kebanyakan kajian-kajian mengenai struktur *gable frame* hanya mempertimbangkan pembebanan statis, baik dengan metode *Load and Resistance Factored Design* (LRFD) atau *Allowable Stress Design* (ASD), dan tidak memperhitungkan pembebanan akibat gempa (Al Imran, *et al.*, 2017; Singh, *et al.*, 2018; Permana, *et al.*, 2019; Katanbafnezhad and Hoback, 2020). Tidak hanya itu, perlu dicatat pula bahwa, perbedaan bentuk penampang *rafter* tentu juga akan mengakibatkan respons berbeda terutama terkait deformasi, *drift ratio*, serta tegangan yang timbul pada elemen struktur.

Kajian ini berupaya untuk mengungkap perilaku *rafter* *gable frame* dengan profil WF lurus akibat pembebanan statis dan dinamis untuk bentang-bentang tertentu dan apabila mereka dibangun di atas situs tanah berbeda. Parameter yang akan ditinjau adalah deformasi, *drift ratio*, distribusi tegangan, dan kemampuan struktur memenuhi persyaratan batas layanan menurut ketentuan dan peraturan yang berlaku. Hal ini penting untuk dikaji agar desain yang dihasilkan tidak hanya ekonomis tetapi juga aman dan sesuai standar nasional.

METODE PENELITIAN

Sebanyak dua variasi bentangan, yaitu 16 m dan 24 m, digunakan untuk melihat seberapa besar perubahan parameter-parameter kajian. Parameter-parameter yang akan ditinjau adalah deformasi, drift rasio, distribusi tegangan dan kemampuan struktur dalam memenuhi persyaratan batas kekuatan dan layanan.

Selanjutnya dua profil lapisan tanah yang dipertimbangkan, yaitu bebatuan dan tanah keras. Perangkat lunak ANSYS *Workbench* digunakan untuk melakukan simulasi analitikal numerik dengan metode elemen hingga untuk mendapatkan besaran deformasi dan distribusi tegangan. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya dalam memodelkan perilaku struktural secara detail dan akurat terhadap beban statis maupun dinamis, khususnya beban gempa sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019.

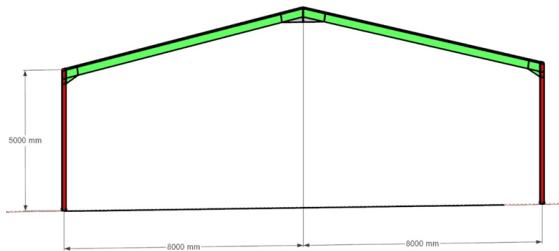
Langkah pertama dalam proses kajian ini adalah melakukan pemodelan geometri struktur *gable frame* WF lurus. Dimensi elemen struktur, termasuk tinggi kolom, tinggi dan kemiringan atap, jarak antar portal, serta spesifikasi profil WF, ditentukan berdasarkan

Evaluasi Numerik Kekuatan Struktur

- 3) Angka Poisson (ν) = 0,3
- 4) Kuat leleh (f_y) = 250 MPa
- 5) Kuat tarik maksimum (f_u) = 410 MPa
- 6) Koefisien muai panas (α) = $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Properti ini memastikan bahwa respons struktur dapat dianalisis secara realistik. Beban yang diterapkan meliputi beban mati (DL), beban hidup (LL), dan beban gempa (EQ). Dalam penelitian ini, beban gempa dihitung mengacu pada respons spektrum desain sesuai SNI 1726:2019 dan menggunakan dua skenario kelas situs, yaitu tanah keras (SC) dan sedang (SB).

Pemodelan numerik terhadap struktur gable frame dilakukan dengan menggunakan elemen hingga solid Tetrahedral 10 simpul (*nodal*) yang di dalam perangkat lunak analisis struktur ANSYS2025R1 disebut SOLID187. Sebagaimana dapat ditunjukkan pada Gambar 2, setiap titik simpul memiliki tiga derajat kebebasan translasi pada arah titik simpul x-, y-, dan z-.



Gambar 1 Gable Frame dengan Rafter WF

Gambar 1 di atas mewakili geometri dasar dari struktur portal gable frame. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis pada rafter tipe WF lurus dengan dua variasi bentang, yaitu 16 m dan 24 m, tinggi kolom 5 m dan kemiringan atap 16°. *Gable frame* seperti ini umumnya digunakan untuk bangunan dengan bentang lebar dan ruang bebas kolom di tengah. Selanjutnya, struktur tersebut ditinjau pada dua kelas situs berbeda, yaitu batuan (SB) dan tanah keras (SC). Dengan demikian terdapat 4 model numerik untuk gable frame dengan WF lurus sebagaimana terlihat dalam Tabel 1 di bawah ini.

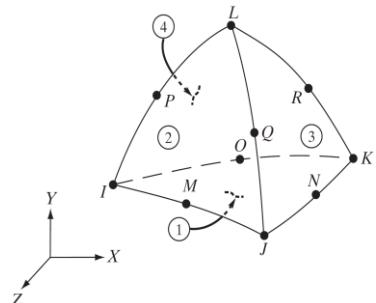
Tabel 1 Kode model untuk simulasi numerik

	Batuan (SB)	Tanah Keras (SC)
Bentang 16 m	1.16.SB	1.16.SC
Bentang 24 m	1.24.SB	1.24.SC

Untuk keperluan tersebut simulasi analitik telah dilakukan terhadap 4 (empat) model numerik untuk mendapatkan parameter deformasi, *drift ratio*, tegangan maksimum, dan *stress ratio* masing-masingnya. Parameter yang dianalisis meliputi total deformasi dan tegangan serta hasil plot kontur.

Tahap berikutnya adalah pemberian material properties berdasarkan mutu baja BJ-41 dengan data sebagai berikut:

- 1) Modulus elastisitas (E_s) = 200.000 MPa
- 2) Modulus geser (G_s) = 80.000 MPa



Gambar 2 Elemen Tetrahedral 10 simpul

Elemen hingga ini merupakan versi orde lebih tinggi dari elemen tetrahedral linier tiga dimensi. Dibandingkan dengan elemen tetrahedral empat simpul, elemen tetrahedral sepuluh simpul lebih cocok dan lebih akurat dalam memodelkan masalah dengan batas lengkung. Elemen ini dapat digunakan untuk menganalisis masalah lendutan besar, regangan besar, plastisitas, dan rangak.

Pemodelan struktur menggunakan ANSYS *Workbench*, di mana dalam proses *meshing* dilengkapi dengan pengaturan *smoothing* dan *transition*. Hal tersebut dilakukan agar kualitas elemen tetap optimal tanpa menimbulkan distorsi. Jumlah total elemen dan simpul (*nodal*) dicatat untuk memastikan densitas mesh cukup dalam memberikan hasil simulasi yang stabil dan konvergen. Dengan parameter ini, *meshing* diharapkan mampu menghasilkan

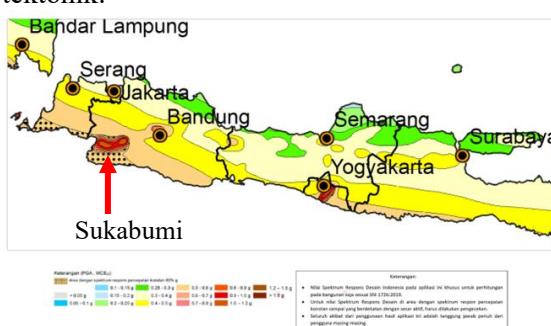
keseimbangan antara akurasi analisis dan efisiensi waktu komputasi, sehingga distribusi tegangan dan deformasi pada gable frame baja dapat dianalisis secara tepat.

Selanjutnya, beban-beban diasumsikan terlebih dahulu berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis yang matang dan sesuai standar yang berlaku (SNI 1727:2020). Beban-beban yang diperhitungkan adalah:

- 1) Beban Mati: berat sendiri elemen struktur Berat jenis material baja = 7.850 kg/m^3
- 2) Beban Mati Tambahan (*Super-Imposed Dead Load – SIDL*): penutup atap, gording, Mechanicals dan Electricals, Lampu, dll = 20 kg/m^2 yang diinput sebagai beban garis merata pada rafter sebesar $100 \text{ kg/m}'$
- 3) Beban Hidup sesuai SNI 1727:2020, khususnya Tabel 4.3-1 dan Pasal 4.8.2, berupa beban area yang dikonversi menjadi beban merata sebesar $300 \text{ kg/m}'$
- 4) Beban Gempa (*Seismic Load*)

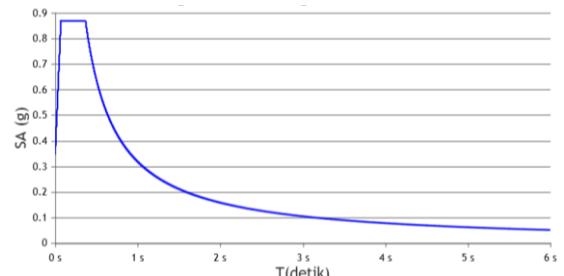
Untuk pembebanan seismik skenarionya ditentukan berdasarkan ketentuan yang tertuang di dalam SNI 1726:2019. Struktur gable frame tersebut diasumsikan dibangun untuk keperluan sebagai pabrik di daerah Sukabumi, Jawa Barat yang termasuk berada dalam zona merah gempa berdasarkan peta Gempa Indonesia (SNI 1726:2019). Berdasarkan Tabel 3 SNI 1726:2019 struktur tersebut termasuk dalam Kategori Risiko II. Selanjutnya, berdasarkan Tabel 4 standar tersebut, struktur tersebut memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0.

Sebagaimana terlihat dalam Gambar 3 di bawah, wilayah ini terletak dekat dengan Sesar Cimandiri yang aktif, serta berada di jalur subduksi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, menjadikannya sangat rawan terhadap gempa tektonik.

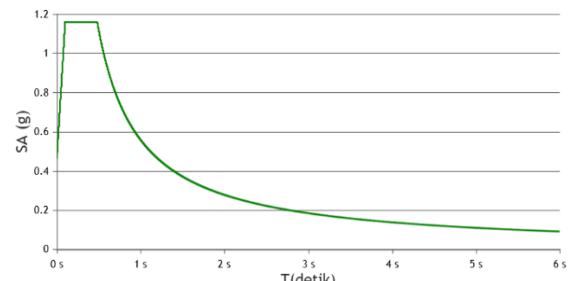


Gambar 3 Peta MCEG wilayah Pulau Jawa (SNI 1726:2019)

Adapun grafik spektra respons untuk suatu struktur yang dibangun di atas tanah batuan (SB) dan tanah keras (SC) di daerah Sukabumi ditunjukkan masing-masing dalam Gambar 4 (a) dan (b) berikut ini.



(a) Spektrum gempa untuk tanah batuan



(b) Spektrum gempa untuk tanah lunak

Gambar 4 Spektrum gempa untuk situs batuan dan situs tanah keras.

Dengan merujuk kepada Gambar 4 (a) di atas dapat diketahui bahwa untuk spektrum gempa pada situs batuan, spektra desain memiliki percepatan puncak S_{DS} sebesar $0.87g$ dan percepatan pada 1 detik S_{DI} sebesar $0.32g$. Sedangkan untuk situs tanah keras, nilai percepatan desain spektra yang diperoleh adalah $S_{DS} = 1.16g$ dan $S_{DI} = 0.56g$.

Selanjutnya, informasi nilai S_{DS} dan S_{DI} , masing-masingnya, dapat digunakan untuk menentukan Kategori Risiko struktur gable frame tersebut dengan bantuan Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,333$	B	C
$0,333 \leq S_{DS} < 0,500$	C	D
$0,500 \leq S_{DS}$	D	D

(SNI 1726-2019 Tabel 8)

Tabel 3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,200$	C	D
$0,200 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019 Tabel 9)

Berdasarkan nilai S_{Ds} dan S_{D1} yang telah didapatkan dari Desain Spektra Indonesia maka dapat disimpulkan struktur gable frame ini termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) **D**. Mengingat ketentuan pada 7.2.5.5 – 7.2.5.7 di dalam SNI 1726:2019, maka struktur tersebut didesain menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Dengan merujuk Tabel 12 SNI 1726:2019 diperoleh koefisien modifikasi respons (R) = 8.

Koefisien Respons Seismik (C_s) menurut ketentuan di dalam 7.8.1.1 SNI 1726:2019 dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{(R/I_e)} \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

S_{Ds} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek,

R = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek,

I_e = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek.

Dengan demikian untuk situs tanah batuan dan situs tanah keras diperoleh nilai C_s berturut-turut adalah 0,10875 dan 0,14500.

Berat seismik efektif (W) dihitung dengan menggabungkan semua beban gravitasi sesuai Persamaan (1) berikut:

$$W = \sum DL + \sum SIDL + \psi \sum LL \dots \dots \dots (2)$$

di mana: DL = beban mati (dead load), $SIDL$ = beban mati tambahan, LL = beban hidup (live load), dan ψ = faktor reduksi beban hidup (umumnya antara 0,25 – 0,5 tergantung fungsi bangunan). Perhitungan berat seismik efektif disajikan dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Perhitungan Berat Seismik Efektif (W)

Span (m)	DL (kg)	DL (kN)	LL (m^2)	$SIDL$ (kN)	Total W (kN)
16 m	24.592	241,254	800	0,588	711,654
24 m	29272	287,166	1200	0,588	992,766

Evaluasi Numerik Kekuatan Struktur

Terakhir dalam penentuan pembebahan gempa, gaya geser dasar (*base shear*) seismik dalam arah yang ditinjau dihitung menggunakan persamaan (3) dan Tabel 5 berikut:

$$V = C_s \times W \dots \dots \dots (3)$$

Tabel 5 Perhitungan Gaya Geser Dasar (V)

Kelas Situs	C_s	W (kN)		V (kN)	
		16 m	24 m	16 m	24 m
Batuan	0,10875	771,65	992,76	83,917	107,96
Tanah Keras	0,145	771,65	992,76	111,89	143,95

Properti struktur gable frame terbuat dari bahan baja dan diasumsikan tegangan dan regangan masih berada dalam daerah linier-elastis selama masa layannya,. Kondisi batas dimodelkan sesuai tumpuan aktual dan kompatibilitas sambungan.

Analisis numerik dilakukan melalui pembebahan bertahap. Pertama, struktur dianalisis terhadap beban statis saja, yaitu beban mati dan hidup untuk mengetahui kondisi awal tegangan dan deformasi. Selanjutnya, analisis respons spektrum gempa dilakukan untuk memperoleh gaya geser dasar, deformasi total, serta distribusi tegangan pada setiap elemen struktur. Output utama yang diamati adalah deformasi maksimum, *drift ratio*, tegangan maksimum, dan *stress ratio* (SR).

Hasil simulasi untuk kedua bentang WF lurus kemudian dibandingkan dengan persyaratan batas layanan SNI 1726:2019, khususnya batas drift ratio $\leq 0,4\%$ dan tegangan maksimum ≤ 250 MPa. Analisis ini digunakan untuk menilai apakah gable frame WF lurus layak digunakan pada bentang tertentu. Dengan demikian, metode penelitian ini secara sistematis mengarahkan pada evaluasi komprehensif terhadap performa gable frame WF lurus dalam menghadapi beban statis dan gempa, serta menentukan kelayakan penggunaannya dalam bangunan bentang lebar di wilayah seismik tinggi.

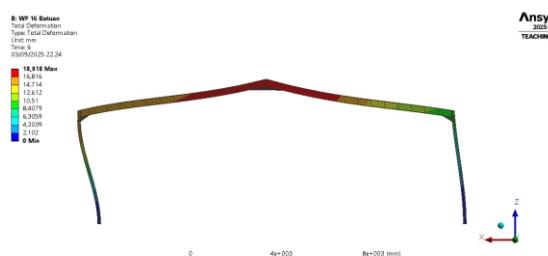
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis spektrum respons gempa untuk wilayah Sukabumi dengan koordinat -6.95363 dan 106.47887, mengungkapkan perbedaan signifikan antara kondisi tanah batuan (SB) dan tanah keras/batuan lunak (SC). Sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4 di atas, pada kelas situs SB, percepatan desain

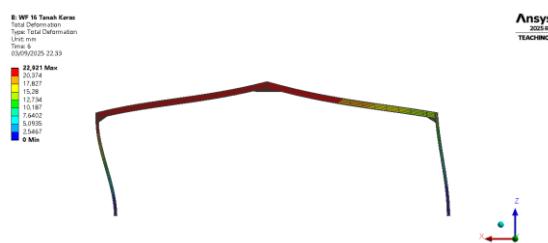
spektra relatif lebih rendah dengan SDS sebesar 0,87 g dan SD1 sebesar 0,32 g, yang menunjukkan respons struktur masih dalam batas yang lebih terkendali. Sebaliknya, pada kelas situs SC nilai percepatan desain meningkat cukup tajam, dengan SDS mencapai 1,16 g dan SD1 sebesar 0,56 g, menandakan tingkat intensitas gempa yang lebih tinggi serta respons struktur yang lebih besar terutama pada periode pendek hingga menengah.

Perbedaan ini menegaskan pentingnya klasifikasi kondisi tanah dalam perencanaan struktur, karena variasi karakteristik tanah dapat memengaruhi besarnya gaya gempa rencana dan implikasinya terhadap desain elemen struktur agar tetap memenuhi persyaratan kinerja dan keselamatan sesuai SNI 1726:2019.

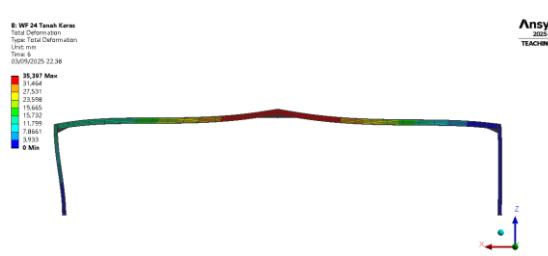
Perubahan bentuk keempat model numerik ditampilkan berturut-turut dalam Gambar 5, 6, 7, dan 8 berikut.



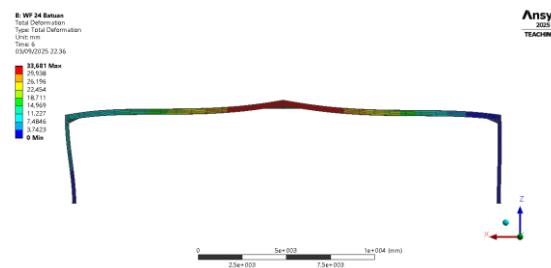
Gambar 5. Hasil plot kontur model 1.16.SB



Gambar 6. Hasil plot kontur model 1.16.SC



Gambar 7. Hasil plot kontur model 1.24.SB



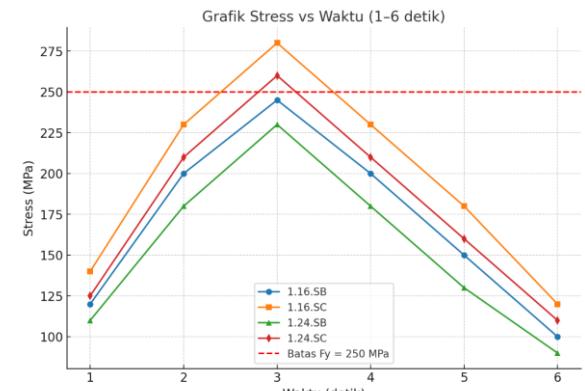
Gambar 8 Hasil plot kontur model 1.24.SC

Adapun, besaran deformasi dan tegangan untuk masing-masing model ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Total Deformasi dan Tegangan

Model	Deformasi (mm)	Tegangan (MPa)	SR	CEK
1.16.SB	18,918	244,64	0,97856	OK
1.16.SC	22,918	279,77	1,11908	NO
1.24.SB	33,681	232,95	0,9318	OK
1.24.SC	35,39	259,95	1,0398	NO

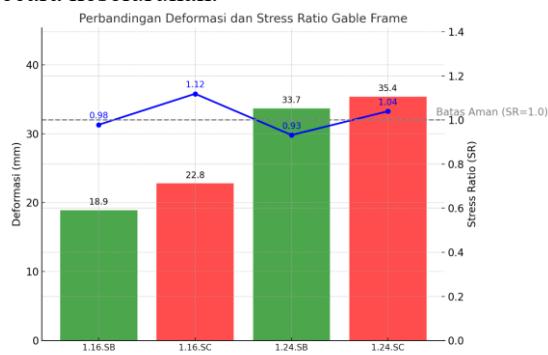
Stress ratio (SR) adalah perbandingan antara tegangan aktual hasil analisis dengan kapasitas ijin material baja. Suatu elemen dianggap aman jika nilai $SR \leq 1,0$, artinya tegangan yang timbul masih berada di bawah atau sama dengan kapasitas ijin. Sebaliknya, jika $SR > 1,0$ maka elemen dinyatakan tidak aman, karena beban yang bekerja menghasilkan tegangan melampaui kapasitas material sehingga berpotensi menyebabkan kegagalan struktur.



Gambar 9 Grafik tegangan pada rafter WF lurus

Hasil analisis gable frame dengan rafter WF lurus menunjukkan adanya perbedaan kinerja struktur pada kelas situs batuan (SB) dan tanah keras (SC). Pada kelas situs SB, nilai stress rasio (SR) tercatat di bawah 1,0 baik untuk bentang 16 m ($SR = 0,979$) maupun bentang 24 m ($SR = 0,932$). Hal ini

menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi masih berada di bawah kapasitas leleh baja ($f_y = 250$ MPa), sehingga struktur dinyatakan memenuhi syarat kekuatan. Deformasi yang terjadi juga relatif terkendali, yaitu 18,9 mm untuk bentang 16 m dan 33,7 mm untuk bentang 24 m, sehingga tidak menimbulkan indikasi kelemahan signifikan terhadap perilaku global struktur. Dengan demikian, pada kelas situs SB, gable frame dapat dikategorikan memiliki performa yang baik secara keseluruhan.



Gambar 10 Perbandingan deformasi dan stress rasio pada model 1

Pada kelas situs SC, hasil perhitungan menunjukkan nilai SR melebihi 1,0, yang berarti tegangan yang terjadi telah melampaui tegangan ijin baja mutu 250 MPa. Untuk bentang 16 m diperoleh SR sebesar 1,119, sedangkan untuk bentang 24 m diperoleh SR sebesar 1,040. Kondisi ini mencerminkan bahwa gaya gempa rencana pada tanah keras menghasilkan respons struktur yang lebih besar dibandingkan pada tanah batuan, sejalan dengan nilai parameter spektrum desain SDS yang lebih tinggi (1,16 untuk SC dibandingkan 0,87 untuk SB). Walaupun deformasi yang dicatat masih dalam rentang yang dapat diterima, nilai tegangan yang melampaui batas ijin menandakan bahwa struktur pada kelas situs SC tidak memenuhi kriteria kekuatan sebagaimana dipersyaratkan oleh standar. Pada rafter WF lurus, perbedaan kelas situs terlihat jelas dari respons kekuatan. Di SB (batuan), semua model tetap berada di bawah ambang—misalnya 1.16.SB mencatat deformasi 18,918 mm, tegangan 244,64 MPa, dan SR 0,98; sedangkan 1.24.SB 33,681 mm, 232,95 MPa, dan SR 0,93—sehingga memenuhi kriteria kekuatan. Ketika beralih ke SC (tanah keras), tuntutan spektral yang lebih tinggi mendorong tegangan dan gaya inersia naik sehingga SR melampaui 1,0 (1,16 pada 16 m dan 1,04 pada

Evaluasi Numerik Kekuatan Struktur

24 m). Pola ini konsisten dengan temuan seismologi rekayasa bahwa klasifikasi situs memengaruhi ordinat spektra dan gaya geser dasar: tanah non-batuhan cenderung memberikan amplifikasi respons pada rentang periode yang relevan untuk portal satu lantai, sehingga elemen rafter menerima efek inersia lebih besar dibanding kondisi batuan keras (Dobry, *et al.*, 2000).

Penambahan lebar bentang dari 16 m ke 24 m menaikkan deformasi total (misalnya dari 18,9 mm menjadi 33,7 mm pada SB). Hal tersebut menandakan kekakuan efektif menjadi isu dominan pada WF lurus, terutama ketika digabung dengan tuntutan seismik di SC. Literatur optimasi portal frame menunjukkan bahwa batas layan—defleksi atau drift—sering kali justru mengontrol desain dan dapat “mengunci” kebutuhan penambahan kekakuan melalui *haunch*, penegar, atau peningkatan ukuran penampang (Phan *et al.*, 2013). Temuan eksperimental pada portal baja satu lantai juga memperlihatkan sensitivitas *drift* dan potensi instabilitas (mis. *lateral-torsional buckling*) pada rafter, sehingga strategi pengaku dan bracing yang tepat menjadi krusial (Hong and Uang, 2012; Su, *et al.*, 2017). Selain itu, kekangan pada sendi kolom–pondasi terbukti berpengaruh terhadap kekakuan global dan simpangan, sehingga pemodelan dan detailing dasar kolom yang realistik dapat membantu menahan drift tanpa selalu harus menambah berat struktur (Prota, *et al.*, 2024).

KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis numerik gable frame baja dengan rafter WF lurus dengan dua variasi bentang, 16 m dan 24 m, dan skenario kondisi tanah, tanah keras (SB) dan bebatuan (SC), telah dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS yang berbasiskan metode elemen hingga. Telah diperlihatkan bahwa respons dinamis dan kinerja struktural gable frame tersebut sangat dipengaruhi oleh panjang bentang dan kondisi tanah.

Pada bentang 16 m, struktur gable frame tersebut masih memenuhi syarat batas layanan SNI 1726:2019, dengan drift ratio 0,237 – 0,285% dan tegangan maksimum 244,64 – 279,77 MPa, meskipun pada kondisi tanah keras sebagian model telah melampaui kapasitas leleh baja ($SR > 1$). Sebaliknya, pada bentang 24 m terjadi peningkatan deformasi yang signifikan, dengan *drift ratio* mencapai

0,421–0,442%, melebihi batas maksimum 0,4% yang ditetapkan SNI, serta tegangan maksimum 232,95 – 259,95 MPa yang telah menyebabkan beberapa model tidak dapat memenuhi kriteria aman.

Dengan demikian, rafter WF lurus hanya dapat direkomendasikan untuk gable frame bentang pendek hingga menengah, yakni di bawah 24 m. Sedangkan untuk bentang panjang diperlukan modifikasi profil atau alternatif sistem struktur lain agar tetap memenuhi persyaratan kekuatan dan batas deformasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Imran, Priskasari, E., & Santosa, A. (2017). Analisa Perbandingan Portal Gable Frame Baja WF dan Struktur Rangka Baja Siku dan T. *Jurnal Sondir*, Vol. 1, 7 – 13.
- ANSYS, Inc. (2025). *Workbench*, Release 2025 R1, Workbench Help System.
- Arini, R. N., Haykal, F. M., Kurni, F. & Ariyani, D. (2025). Impact of Column Force on The Slope of a Gable Frame Roof. *Rekayasa Sipil*, 19(01), 77–82.
- Badan Standarisasi Nasional (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. SNI 1726:2019. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727:2020. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Dobry, R., Borcherdt, R. D., Crouse, C. B., Idriss, I. M., Joyner, W. B., Martin, G. R., Power, M. S., Rinne, E. E., & Seed, R. B. (2000). New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions. *Earthquake Spectra*, 16(1), 41–67. <https://doi.org/10.1193/1.1586082>
- Hong, J. -K., & Uang, C. -M. (2012). Cyclic testing of a metal building moment frame system with web-tapered members. *Journal of Constructional Steel Research*, 70, 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.09.005>
- Ihsanudin & Buwono. (2013). Analisis Konstruksi Gable dengan Rafter Menggunakan Profil Baja Honeycomb dan Truss. *Konstruksia*, 4(2), 77–89.
- Katanbafnezhad, N. & Hoback, A. (2020). Comparison of LRFD and ASD for Pre-Fabricated Gable Frame Design. *American Journal of Engineering Research (AJER)*. 9(5), 120 – 134.
- Permana, M. B., Priskasari, E., & Erfan, M. (2019). Analisa Portal Gable Frame dengan Pemakaian Balok Castella dibanding WF untuk Bangunan Hanggar. *Jurnal Sondir*, Vol. 1, 34 – 41.
- Phan, D. T., Lim, J. B. P., Tanyimboh, T. T., Lawson, R. M., Xu, Y., Martin, S., & Sha, W. (2013). Effect of serviceability limits on optimal design of steel portal frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 86, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.03.001>
- Prota, A., Tartaglia, R., & Landolfo, R. (2024). Influence of column–base connections on seismic behavior of single-story steel buildings. *Buildings*, 14(11), 3606. <https://doi.org/10.3390/buildings14113606>
- Singh, P., Rajalingam, M., & Kumar, V. R. (2018). Analysis of Steel Gable Frame for Various Loadings. *International Journal of Advanced Research in Science and Engineering*, 07 (04 Special Issue), 797 – 804. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.09.009>
- Su, M., Wang, H., Wang, Z., & Wang, F. (2017). Shaking table tests on steel portal frames consisting of non-compact tapered members. *Journal of Constructional Steel Research*, 128, 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.09.009>
- Suhendi, C., Paikun, & Kamal, N. (2020). Evaluasi Perencanaan Struktur Bangunan Pabrik Batu, Imitasi Menggunakan Struktur Balok Baja Kastela (Honeycomb). *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 6(2), 32 – 40.
- Sulendra, K., Listiawaty, H. & Sutrisno, M. (2024). Perilaku Struktural Gable frame Baja dengan Variasi Bentang, Jumlah Portal dan Kelas Situs pada Daerah Risiko Gempa Besar. *Rekonstruksi Tadulako*, 5(2), 141 – 150.