

ANALISIS KAJIAN STRUKTUR DESAIN TERHADAP MUTU EXISTING PADA PENAMPANG NON PRISMATIC GABLE FRAME PT UNIMOTOR TECHNOLOGY INDONESIA

Teguh Mulyo Wicaksono^{1,*}, Moh. Abduh², Dwi Respono Adhi³, Ridho Wicaksono⁴, Vera Mahardika¹, Puspa Anandhita Fristio¹, Rajna Maulia Dwi Rahma¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof Sudarto Tembalang, Kota Semarang, 50275

²Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas 246 Kota Malang

³PT Adhi Konsultan Utama
Witjitrland Blok E No. 5 Langenharjo, Kendal 51314

⁴SMK Negeri 7 Semarang
Jl. Simpang Lima, Mugassari, 50243 Kota Semarang

^{*}Correspondent Author: teguh.mulyo@polines.ac.id

Abstract

The use of non-prismatic gable frame steel structures is common in industrial buildings due to their structural efficiency. However, their performance depends significantly on the quality of the steel material. This study evaluates the mechanical properties of Chinese structural steel grade Q355B (GB/T 1591-2018) and assesses its structural performance in a non-prismatic gable frame system at PT Unimotor Technology Indonesia. A quantitative approach was employed through laboratory testing using the Brinell and Rebound methods to determine steel hardness and ultimate tensile strength (F_u). The test results showed a minimum F_u value of 495 MPa. Nevertheless, conservative design properties specified for Q355B steel ($F_y = 355$ MPa and $F_u = 470$ MPa) were adopted in the structural analysis. A three-dimensional model was developed using CSI ETABS V.21.0 to represent the non-prismatic gable frame geometry. Structural analysis was conducted in accordance with SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, and LRFD load combinations, considering dead, live, wind, and seismic loads. The results indicate that all structural members satisfy the required strength criteria. The maximum flexural–shear interaction ratio was 0.601, while the flexural–compression interaction ratio was 0.57, both below the allowable limit of 1.0. The structure also met the requirements for lateral-torsional buckling resistance. Based on the analysis, the non-prismatic gable frame system using Q355B steel is structurally safe and complies with the requirements of SNI 1729:2020.

Keywords: *Non-Prismatic Gable Frame, Q355B Steel, Mechanical Properties, Structural Analysis, ETABS Modeling*

PENDAHULUAN

Portal *gable frame* adalah sistem struktur baja berbentuk segitiga (atap pelana) yang terdiri dari dua kolom

dan dua balok miring (*rafter*) yang saling terhubung kaku di bagian lutut (*knee joint*) dan puncak (*ridge*). Sistem ini banyak digunakan pada bangunan

bentang lebar seperti gudang, pabrik, dan hangar. PT Unimotor Technology Indonesia berdiri di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Kabupaten Kendal Jawa Tengah. Pembangunan konstruksi dilakukan oleh kontraktor china dengan matrial dan acuan standar dari china. Pembangunan PT Unimotor Technology Indonesia menggunakan konstruksi Rangka portal atap pelana (*gable frame*) yang berbentuk non prismatic untuk balok rafter yang dipasang.

Analisis kajian struktur dilakukan terhadap struktur existing dilakukan karena pembangunan gedung pabrik dengan standar china dimana *gable frame* Non-Prismatik memiliki variasi penampang dan meningkatkan kompleksitas struktur, optimasi material vs keamanan struktur, sensitivitas terhadap beban kombinasi, potensi ketidakstabilan (*buckling*), kualitas fabrikasi dan *erection*, sambungan (*connection*) lebih kritis, kepatuhan terhadap standar dan regulasi, mitigasi risiko kegagalan struktur, efisiensi biaya jangka panjang. Pengkajian dan analisa pada bangunan *gable frame* non-prismatik bukan hanya kebutuhan teknis, tetapi juga langkah strategis untuk menjamin keselamatan struktur, mengoptimalkan efisiensi material dan biaya, memastikan kepatuhan terhadap standar dan mengurangi risiko kegagalan konstruksi.

Rangka portal atap pelana (*gable frame*) merupakan salah satu pilihan utama untuk struktur bangunan industri karena efisiensi desain dan kemudahan fabrikasinya (Putra & Wijaya, 2020).

Untuk lebih mengoptimalkan penggunaan material, desainer sering menggunakan penampang *non-prismatic* di mana dimensi elemen bervariasi di sepanjang bentangnya. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mengurangi berat total struktur dengan menyesuaikan kapasitas penampang terhadap distribusi momen lentur aktual (Kaveh & Farshad, 2018). Integritas struktural dari rangka non-prismatik ini, seperti yang digunakan pada Rafter GWL 4 (H 500-850mm) di PT Unimotor, sangat bergantung pada mutu baja (kekuatan luluh dan kekuatan tarik) yang digunakan (Tavil & Çelik, 2019).

Di pasar konstruksi Indonesia, penggunaan baja impor seperti mutu Q355B asal Tiongkok, yang juga digunakan pada proyek PT Unimotor Technology Indonesia, telah menjadi umum. Q355B adalah kelas baja struktural standar China (GB/T 1591-2018) yang banyak dipakai untuk aplikasi konstruksi, mesin, dan struktur berat. Huruf “Q” menunjukkan baja dengan kekuatan (*yield strength*) tertentu, angka 355 berarti kekuatan luluh minimal ~355 MPa (megapascal) pada ketebalan tertentu. Menurut Susanto & Prabowo (2021), baja ini sering diklaim memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi dibandingkan beberapa baja standar SNI. Namun, hal ini menimbulkan tantangan dalam verifikasi kesesuaian. Perbedaan antara standar Tiongkok (seperti GB/T 1591-2018) dan Standar Nasional Indonesia (SNI 1729:2020) menuntut adanya validasi properti mekanis untuk memastikan kepatuhan

terhadap regulasi desain lokal. Seringkali terdapat kesenjangan antara spesifikasi *mill certificate* dan properti mekanis *as-built* akibat variabilitas manufaktur, sehingga verifikasi empiris di lapangan menjadi krusial (Ghozlan & Ibrahim, 2021).

Salah satu metode pengujian non-destruktif (NDT) yang cepat dan objektif untuk memverifikasi mutu baja terpasang adalah Uji Kekerasan *Brinell* (*Brinell Hardness Test*) (Davis, 2018; Cahill, 2022). Pengujian ini, sebagaimana juga diterapkan dalam kajian kekuatan material yang diuji dilapangan pada PT Unimotor Technology Indonesia, memberikan indikasi kuat terhadap kekuatan tarik ultimit (F_u) material baja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan mutu baja *as-built* pada penampang *gable frame non-prismatic* di PT Unimotor Technology Indonesia. Metode ini menggabungkan data uji *Brinell* dan uji laboratorium dengan analisis *pemodelan ulang* (*re-modeling*) struktur menggunakan ETABS.

Pemodelan ini menerapkan kombinasi pembebanan gravitasi dan lingkungan (angin dan gempa) sesuai SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019 (Prakoso & Santosa, 2022; Maulana & Imran, 2023). Tujuan akhirnya adalah untuk memvalidasi performa struktur yang dikerjakan oleh kontraktor china dengan standar china dan mutu baja dari china yang digunakan yaitu tipe Q355B dan menilai keamanan serta kelayakan struktur secara keseluruhan memastikan semua parameter kekuatan struktur balok baja memenuhi batas

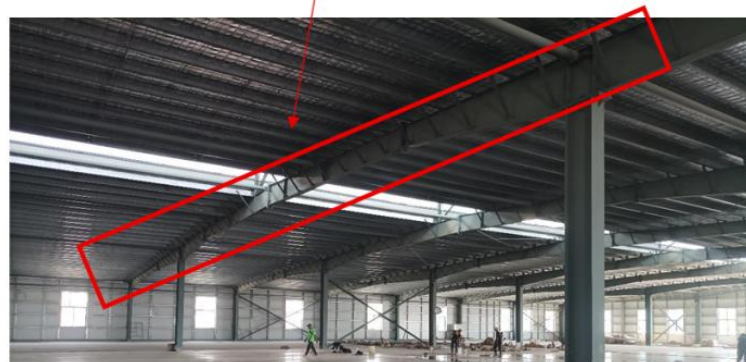
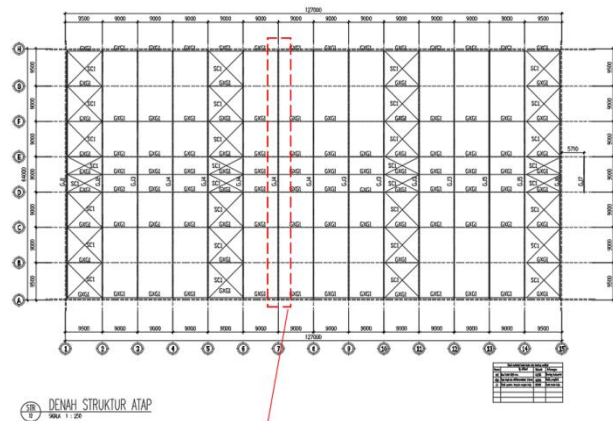
aman. Rasio interaksi lentur, geser, serta kombinasi lentur-tekan semuanya dikatakan aman jika bernilai ≤ 1 . Selain itu, memastikan struktur tahan terhadap tekuk lateral. Serta memastikan balok pada sistem *gable frame* dengan penampang non prismatic aman dan memenuhi syarat kekuatan serta kelayakan struktur dan memenuhi ketentuan SNI 1729:2020 yang berlaku.

METODE PENELITIAN

Model Konstruksi Nonprismatic *Gable Frame*

Karakteristik Struktur Portal *Gable Frame* Sistem rangka kaku (*rigid frame*), Efisien untuk bentang $\pm 10-60$ meter, Umumnya menggunakan profil baja WF / H-Beam, Bisa dibuat sebagai *tapered section* (penampang berubah) untuk efisiensi material. Rangka non-prismatik yang ditinjau pada analisis ini, seperti yang digunakan pada Rafter GWL 4 (H 500-850mm) di PT Unimotor merupakan bentuk rangka utama penyangga atap pelana bentang Panjang. Rangka *non prismatic* GWL 4 PT Unimotor Technology Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1 dengan spesifikasi teknis struktur yang ditinjau adalah sebagai berikut:

- H 500~850.200.8.12 mm
- End Plate 760.300.28 mm (GWL 4 dengan kolom)
- End Plate 710.210.20 mm (GWL 4 dengan GWL 5)
- sambungan $\varnothing 30$ mm 12 Buah (GWL 4 dengan kolom)
- sambungan $\varnothing 24$



Gambar 1. Tinjauan Rangka non-prismatik GWL 4 (H 500-850mm)

Pengujian Material Kekerasan dan Kuat Tarik Baja

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material baja, terutama kekerasan dan kuat tarik. Untuk mendapatkan data tersebut, dilakukan pengujian material di laboratorium menggunakan metode *Brinell* dan metode *Rebound*. Pendekatan kuantitatif dipilih karena kedua metode pengujian ini menghasilkan data primer berupa angka-angka. Data numerik ini kemudian dapat dianalisis secara statistik dan dibandingkan dengan nilai standar sifat mekanis baja Q355B yang digunakan dalam perencanaan struktur. Semua proses pengujian dilakukan langsung di laboratorium dengan

menggunakan alat yang sudah terkalibrasi dan memenuhi standar.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja Q355B yang sering digunakan sebagai bahan struktur bangunan. Alat yang digunakan meliputi *Brinell Hardness Tester*, *Rebound Tester*, serta alat bantu pengukur seperti jangka sorong, mikrometer dan alat ukur digital untuk memastikan hasil yang akurat. Prosedur penelitian dimulai dengan persiapan spesimen baja sesuai ukuran yang standar. Permukaan benda uji diratakan agar hasil pembacaan lebih tepat. Pengujian *Brinell* dilakukan dengan menekan bola tungsten carbide pada permukaan baja dengan beban tertentu, kemudian ukur diameter

bekas tekan untuk mendapatkan nilai kekerasan Brinell (HB). Nilai tersebut dikonversi menjadi kuat tarik (*ultimate tensile strength*, F_u). Selanjutnya dilakukan pengujian *Rebound* dengan melepaskan *impact body* dari pegas yang menumbuk permukaan baja. Energi pantulan diukur sebagai acuan untuk mengetahui tingkat kekerasan material.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian laboratorium dengan nilai standar

material. Nilai kuat tarik dari hasil *Brinell* dihitung berdasarkan hubungan empiris antara kekerasan dan kekuatan tarik, sedangkan nilai dari *Rebound* digunakan untuk memperkuat hasil tersebut. Perbandingan dilakukan terhadap nilai standar tipe baja Q355B, yaitu:

- $F_y = 355 \text{ MPa}$
- $F_u = 470 \text{ MPa}$

Pengujian dengan brinell test dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Pengujian Brinell test

Hasil pengujian laboratorium diperoleh nilai berikut:

- $F_y = 400 \text{ MPa}$
- $F_u = 545 \text{ MPa}$ (hasil pengujian tarik)
- $F_u = 495 \text{ MPa}$ (hasil Brinell terendah)

Untuk keperluan perencanaan dan pemodelan struktur, digunakan nilai yang terkecil karena dianggap paling konservatif yaitu $F_y = 355 \text{ MPa}$ dan $F_u = 470 \text{ MPa}$ agar hasil perhitungan tetap aman terhadap variasi mutu material.

Tabel 1. Hasil pengujian Brinell test

Lokasi	: PT. UNIMOTOR TECHNOLOGY INDONESIA					
Tanggal tes	: 31 Juli 2025					
Lokasi	: Kawasan Industri Kendal					
Bangunan	: Bangunan Pabrik					
Elemen	Kolom	Kolom	Kolom	Kolom	Kolom	
Sudut pukulan	←	←	←	←	←	
Nilai HL	1	473,8	324,2	406,7	406	395,9
	2	507,7	400,8	287,8	489,8	499,0
	3	443,3	501,5	469,1	431,1	507,1
	4	549,2	348,9	468,6	464,3	512,2
	5	453,4	454,9	379,9	434,9	379,9

6	452,8	490,7	326,7	366,2	468,1
7	468,5	482,3	438,3	449,3	488,8
8	449,9	410,1	480,1	380,3	452,3
9	582,1	431,8	479,5	503,7	464,5
10	439,7	426,4	510,3	205,1	439,0
Rata – rata HL	482,0	427,2	424,7	413,1	460,7
Konversi HB	203,0	157,7	155,7	147,1	184,7
Tensile Strength (Fu)	687,0	534,3	528,5	495,0	623,8

Metode ini dirancang untuk mendapatkan data kuat tarik dan kekerasan baja Q355B melalui dua metode pengujian, yaitu *Brinell* dan *Rebound*. Hasil yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam analisis pemodelan struktur bangunan, dengan mempertimbangkan nilai terendah dari hasil pengujian sebagai parameter desain yang aman dan realistis.

Analisis Pembebanan Struktur

Perencanaan ini dilakukan untuk memvalidasi model numerik dalam kondisi operasional dan ekstrem. Kriteria pembebanan yang dilakukan mengacu pada Standar Nasional Indonesia yang relevan, yaitu SNI 1727-2020 untuk Beban Desain Minimum dan SNI 1726-2019 untuk Perencanaan Ketahanan Gempa. Beban diklasifikasikan ke dalam beban gravitasi dan beban lingkungan.

Beban Gravitasi (DL, LL)

Beban mati (DL), terdiri dari berat sendiri (*self-weight*) struktur yang dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak analisis dan beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*, SIDL). Beban SIDL mencakup komponen non-struktural permanen seperti penutup atap spandek dengan berat 0,05 kN/m².

Beban hidup (LL), beban hidup yang relevan adalah beban hidup atap (*Roof Live Load*, Lr). Sesuai dengan standar SNI 1727-2020 yang menetapkan nilai beban hidup atap sebesar 1 kN. Beban ini non-permanen dan diaplikasikan untuk menyimulasikan kondisi pembebanan temporer terberat yang mungkin terjadi selama proses pemeliharaan atau perbaikan.

Beban Pada Struktur Atap Bangunan Pabrik

Berat sendiri struktur dihitung otomatis menggunakan bantuan program ETABS V.21.0.0

Berat penutup atap = 0.05 kN/m²
(Atap Spandek 0,5 mm)

Jarak gording = 1 m

Jarak rafter = 9,5 m

Beban penutup atap = 0,05 kN/m
pada gording

Berat alat sambung = 10% x total
berat atap
= 0,005 kN/m

Beban mati pada gording = 0,06 kN/m

Sudut atap = 3 Derajat

Beban air hujan = (40-0,8 x
kemiringan atap) = 0,376 kN/m²

Beban air hujan pada gording = 0,376
kN/m

Beban hidup pada atap = 1 Kn

2. Beban Lingkungan (W, E)
 Beban angin (W), analisis beban angin ini menggunakan kecepatan angin dasar desain yang sesuai dengan SNI 1727-2020 sebesar 40 m/s setara dengan 144 km/jam, yang mewakili kondisi cuaca ekstrem. Karena data cuaca aktual dari BMKG terlalu kecil dengan kecepatan angin normal hanya 5,3 m/s (19 km/jam). Kecepatan angin actual = 19 km/jam = 5,3 m/s. Kecepatan angin yang digunakan dalam analisa = 40 m/s (SNI 1727-2020)

Analisis ini memperhitungkan dua efek utama angin pada atap. Tekanan positif (angin desak) ini menghitung gaya berdasarkan tekanan velositas (qz) pada elevasi atap dan koefisien tekanan eksternal (Cp) yang menghasilkan nilai tekanan sebesar 0,62 kN/m², beban ini bekerja ke bawah searah dengan beban gravitasi. Tekanan negatif (angin hisap) in menghitung gaya menggunakan qz dan koefisien tekanan Cp yang menunjukkan nilai tekanannya -0,68 kN/m², beban ini bekerja ke atas berlawanan dengan gravitasi.

Beban Angin pada Atap
 Sudut Kemiringan Atap 3°
Kasus A

Cnw = 1,1
 Cnl = -0,30

Kasus B

Cnw = 0,2
 Cnl = -1,2

Beban angin kasus A

P Cnw (G*Cnw A*qz) = 0,62 kN/m²
 P Cnl (G*Cnl A*qz) = -0,17 kN/m²

Beban angin kasus B

P Cnw (G*Cnw B*qz) = 0,11 kN/m²
 P Cnl (G*Cnl B*qz) = -0,68 kN/m²

Diambil beban angin pada atap

Angin Desak = 0,62 kN/m²
 Angin Hisap = -0,68 kN/m²
 Jarak antar gording = 1,00 m
 Beban Angin Pada Gording
 Angin Desak = 0,62 kN/m
 Angin Hisap = -0,68 kN/m

Beban gempa (E), beban ini tidak secara langsung berhubungan dengan *gable frame* namun beban gempa menggoyangkan kolom penyangganya karena gaya inersia yang menggetarkan seluruh bangunan sebagai satu kesatuan. Analisis yang dilakukan pada beban gempa dilakukan menurut SNI 1726-2019 yang mendapatkan hasil data parameter percepatan spektral desain.

Tabel 2. Data analisis beban gempa

ANALISIS BEBAN GEMPA MENURUT SNI 1726 - 2019			
Data Parameter Gempa			Keterangan
Kategori Resiko		II	4.1.2 tabel 3
Faktor Keutamaan Gempa	I _e	1	4.1.2 tabel 4
Faktor Kuat Lebih Sistem	Ω ₀	3	7.2.2 tabel 12
Faktor Pembesaran Defleksi	C _d	5,5	7.2.2 tabel 12
Koefisien Modifikasi Respon	R	8	7.2.2 tabel 12
Kategori Desain Seismik	K _{DS}	D	6.5 tabel 8 dan

Kelas Situs Tanah		E	9
Data Percepatan Gempa			5.3 tabel 5
Spektral Percepatan Periode Pendek	S _s	0.754	RSA 2021
Spektral Percepatan Periode 1 detik	S ₁	0.3373	RSA 2021
koefisien situs	F _a	1,297	Interpolasi
koefisien situs	F _v	2,650	Interpolasi
percepatan desain periode pendek	S _{ds}	0.652	6.3
	$=2/3 * F_a * S_s$		
percepatan desain periode 1 detik	S _{d1}	0.596	6.3
	$=2/3 * F_v * S_1$		
	T ₀ =	0.183	6.4
	$0.2 * S_{D1} / S_{DS}$		
	T _s = S _{D1} / S _{DS}	0.914	6.4

Gable frame menjadi pengikat horizontal di bagian atas bangunan yang menghubungkan puncak kolom. Gerakan yang terjadi ketika gempa menimbulkan gaya aksial (tarik dan tekan) serta momen lentur baru di dalam *gable frame*.

Kombinasi Pembebanan

Pada kombinasi ini analisis yang dilakukan berdasarkan prinsip *load and resistance factor design* (LRFD) sesuai dengan SNI 1726-2019, untuk memastikan keamanan struktur *gable frame* dalam kondisi pembebanan terburuk. Kombinasi beban yang paling relevan untuk desain *gable frame* adalah melibatkan interaksi antara beban gravitasi (mati dan hidup) dan beban lingkungan (angin dan gempa), antara lain:

- Kombinasi berbasis gravitasi dan beban hidup atap, untuk mengecek

kapasitas lentur akibat beban vertikal. $1.4 D$ dan $1.2D = 1,6 L + L$

- Kombinasi berbasis angin, $1.2D + 1.0W + L + 0,5$ untuk mensimulasikan kondisi beban gravitasi penuh bersamaan dengan beban angin penuh. $0.9D + 1.0W$ untuk mensimulasikan kondisi kritis gaya angkat angin bekerja berlawanan dengan beban mati yang dikurangi.
- Kombinasi berbasis gempa, $1.2D + E + E_h + L$, untuk mensimulasikan beban gravitasi bersamaan dengan gaya gempa horizontal dan efek vertikal gempa. $0.9D + E + E_h$, untuk mensimulasikan kondisi gaya gempa bekerja bersamaan dengan beban mati yang dikurangi untuk mengecek stabilitas dan gaya tarik pada sambungan.

Tabel 3. Kombinasi beban struktur atas

No	DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
1	1.1	1,4	1,4						
2	2.1	1,2	1,2	1,6	0,5				
	2.2	1,2	1,2	1,6		0,5			
3	3.1	1,2	1,2	1	1,6				
	3.2	1,2	1,2		1,6	0,5			

	3.3	1,2	1,2		1,6		0,5	
	3.4	1,2	1,2		1,6	0,375	0,375	
	3.5	1,2	1,2	1		1,6		
	3.6	1,2	1,2			1,6	0,5	
	3.7	1,2	1,2			1,6		0,5
	3.8	1,2	1,2			1,6	0,375	0,375
4	4.1	1,2	1,2	1	0,5		1	
	4.2	1,2	1,2	1	0,5			1
	4.3	1,2	1,2	1	0,5		0,75	0,75
	4.4	1,2	1,2	1		0,5	1	
	4.5	1,2	1,2	1		0,5		1
	4.6	1,2	1,2	1		0,5	0,75	0,75
5	5.1	0,9	0,9				1	
	5.2	0,9	0,9					1
	5.3	0,9	0,9				0,75	0,75
6	6.1	1,330	1,330	1				1,3 0,39
	6.2	1,330	1,330	1				1,3 -0,39
	6.3	1,330	1,330	1				-1,3 0,39
	6.4	1,330	1,330	1				-1,3 -0,39
	6.5	1,330	1,330	1				0,39 1,3
	6.6	1,330	1,330	1				-0,39 1,3
	6.7	1,330	1,330	1				0,39 -1,3
	6.8	1,330	1,330	1				-0,39 -1,3
7	7.1	0,769	0,769					1,3 0,39
	7.2	0,769	0,769					1,3 -0,39
	7.3	0,769	0,769					-1,3 0,39
	7.4	0,769	0,769					-1,3 -0,39
	7.5	0,769	0,769					0,39 1,3
	7.6	0,769	0,769					-0,39 1,3
	7.7	0,769	0,769					0,39 -1,3
	7.8	0,769	0,769					-0,39 -1,3

Pemodelan Ulang

Membangun model 3D dari struktur pabrik menggunakan *software* CSI ETABS V.21.0. untuk menciptakan replika digital dari struktur eksisting yang akan dianalisis. *Gable frame* sesuai dengan desain *non-prismatic* contoh GWL (H 500-850x200x8x12 mm) untuk mendapatkan distribusi tegangan dan momen akurat, jika model *prismatic* sederhana akan mendapatkan hasil yang salah. Pada modifikasi kekakuan pada elemen model seperti 0,7 I_g untuk kolom sesuai dengan SNI 2847-2019. Menunjukkan bahwa analisis harus

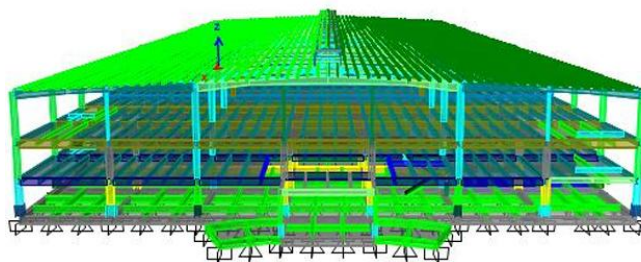
memperhitungkan efek retak pada elemen beton yang mempengaruhi perilaku struktur baja secara keseluruhan. Pemodelan ulang komponen struktur baja PT Unimotor secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

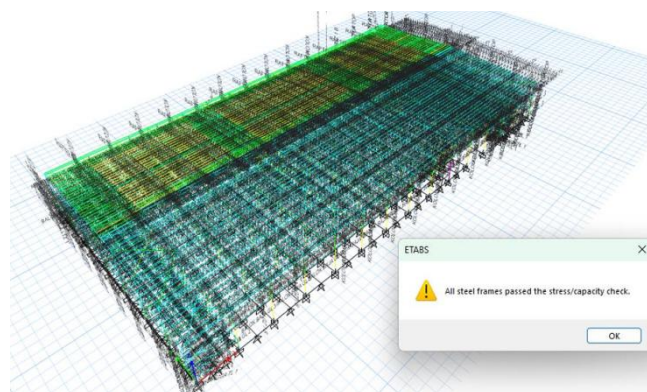
Balok baja merupakan elemen utama dalam sistem struktur baja yang berfungsi menahan beban lentur akibat momen serta gaya geser dari beban gravitasi. Evaluasi kekuatan struktur eksisting perlu dilakukan untuk memastikan kesesuaian kinerja struktur

dengan standar keselamatan yang berlaku. Dalam konteks ini, kajian dilakukan terhadap elemen balok baja bangunan PT Unimotor Technology Indonesia dengan tinjauan pada Rafter

GWL 4 (H 500-850mm). Hasil pengecekan rasio tegangan pada pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Pemodelan struktur



Gambar 4. Cek rasio desain struktur baja

Dari pemodelan dilakukan cek desain struktur didapatkan Rasio tegangan Baja Profil pada Gambar 4 untuk komponen struktur utama masih aman terhadap kombinasi beban ultimit (dengan beban gempa) dengan rasio tegangan kurang dari 1. Seluruh kombinasi beban (beban mati, hidup, angin, dan beban lainnya) telah diperhitungkan, dan hasil analisa menunjukkan bahwa kondisi paling kritis pun masih dalam batas aman

Berdasarkan hasil analisa struktur terhadap balok pada sistem *gable frame*, dapat disimpulkan bahwa elemen balok telah memenuhi

persyaratan keamanan yang ditetapkan dalam peraturan perencanaan struktur yang berlaku. Secara umum, evaluasi dilakukan terhadap beberapa aspek utama, yaitu kekuatan, kekakuan, dan stabilitas elemen. Analisis manual sesuai dengan SNI 1729:2020 dilakukan untuk memvalidasi hasil dari pemodelan tersebut.

Analisis dilakukan terhadap profil baja non prismatic WF 850×200×8×12 mm dengan mutu material $F_y = 355$ MPa dan modulus elastisitas $E = 200.000$ MPa.

Beban yang bekerja diperoleh dari hasil pemodelan struktur eksisting

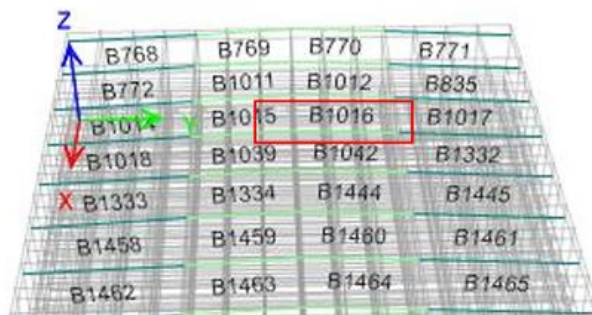
menggunakan ETABS v21, meliputi beban mati, beban hidup, serta beban kombinasi.

Analisis kekuatan dilakukan sesuai ketentuan SNI 1729:2020, meliputi:

1. Pemeriksaan kekuatan lentur (M_{nx} , M_{ny}) dan faktor reduksi $\phi = 0,9$.
2. Pemeriksaan kekuatan geser (V_n) dengan $\phi = 1,0$.

3. Pemeriksaan interaksi lentur–geser dan lentur–tekan (Pasal H1).

Hasil analisis ETABS menunjukkan bahwa momen terbesar yang bekerja akibat beban terfaktor adalah terdapat pada profil non prismatic yang ditinjau. Titik GWL 4 yang ditinjau pada pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Lokasi profil non prismatic yang ditinjau

Tabel 4. Data Profil Rafter GWL 4

Section Properties					
A (mm ²)	J (mm ⁴)	I ₃₃ (mm ⁴)	I ₂₂ (mm ⁴)	A _{v3} (mm ²)	A _{v2} (mm ²)
11732	373418,7	1272556928,3	16062819,4	4800	6800
Design Properties					
S33 (mm3)	S22 (mm3)	Z ₃₃ (mm3)	Z ₂₂ (mm3)		
2994251,6	160628,2	3508140,9	255935,1		
r33 (mm)	r22 (mm)	C _w (mm6)			
329,3	37	2,809E+12			

Klasifikasi penampang elemen balok baja dilakukan untuk menentukan perilaku elemen struktur terhadap lentur, apakah tergolong kompak, non-kompak, atau langsing, sesuai dengan ketentuan SNI 1729:2020 (Tabel B4.1b tentang Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur)

- Pemeriksaan sayap (*flange*)

Rasio kelangsingan sayap dihitung menggunakan persamaan $\lambda_f = bf / (2tf)$ dengan hasil sebesar 8,33. Berdasarkan SNI, batas kelangsingan penampang kompak dan non-kompak ditentukan dengan rumus $\lambda_p = 0,38\sqrt{(E/F_y)} = 9,02$ dan $\lambda_r = 1,00\sqrt{(E/F_y)} = 23,74$.

Hasil menunjukkan $\lambda_f = 8,33 < \lambda_p = 9,02$, sehingga sayap balok termasuk kategori kompak. Hal ini menunjukkan bahwa penampang sayap mampu mencapai kekuatan plastis penuh sebelum mengalami tekuk lokal.

- Pemeriksaan badan (*web*)
Rasio kelangsingan badan dihitung menggunakan rumus $\lambda_w = h/t_w$ dengan hasil 103,25. Batas kelangsingan penampang kompak dan non-kompak masing-masing adalah $\lambda_p = 3,76\sqrt{E/F_y} = 89,25$ dan $\lambda_r = 5,70\sqrt{E/F_y} = 135,29$.
Dari hasil perbandingan diperoleh $\lambda_p < \lambda_w = 103,25 < \lambda_r$, sehingga badan balok termasuk kategori non-kompak.

Berdasarkan hasil evaluasi, elemen sayap tergolong kompak sedangkan badan tergolong non-kompak. Dengan demikian, secara keseluruhan penampang balok diklasifikasikan sebagai penampang non-kompak, karena salah satu komponennya tidak memenuhi syarat kekompakan penuh.

SNI 1729 2020, Pasal F (Desain Komponen Struktur Untuk Lentur)
Kuat Lentur Nominal Sumbu Kuat (X)
Panjang $L_p = 1,76 * r_y * (E / F_y)^{0,5} = 1.546$ mm. Nilai $r_{ts} = (I_y * C_w)^{0,5} / S_x = 47,41$ mm
Konstanta Torsi, $J = (2 * b_f * t_f^3 + h_0 * t_w^3) * (1/3) = 373.41$ mm. Panjang $L_r = 4.328$ mm

$$L_r = 1,95 * r_{ts} * \left(\frac{E}{0,7 * f_y} \right) * \sqrt{\left(\frac{J C}{S_x * h_0} \right) \sqrt{\left(\frac{J C}{S_x * h_0} \right)^2 + 6,76 * \left(\frac{0,7 * f_y}{E} \right)^2}}$$

Panjang str Baja Tak terbreis, $L_b = 4.5$ mm
Pengecekan Tekuk Torsi Lateral Buckling

$L_r \leq L_b =$ Terjadi Tekuk Elastic
Kapasitas Momen Nominal Penampang Kompak ($\lambda_f \leq \lambda_p$) Terjadi Tekuk Elastic

$$F_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 * \left(\frac{J C}{S_x * h_0} \right) * \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

$F_{cr} = 729,85$ MPa
 $M_p = 1.245.390.020$ N.mm
 $M_n = F_{cr} * S_x = 2.185.357.069$ N.mm
 $M_n \leq M_p = 1.245.390.020$ N.mm
Kapasitas Momen Nominal Penampang Non-Kompak ($\lambda_p \leq \lambda_f \leq \lambda_r$)

$C_b = 3,18$ N.mm
 $M_p = 1.245.390.020$ N.mm
 $M_r = 0,7 * S_x * F_y = 744.071.522$ N.mm

$$Mn = Cb * [Mp - (Mp - Mr) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)]$$

$Mn = 4.030.376.725 \text{ N.mm}$
 $Mn \leq Mp = 1.245.390.020 \text{ N.mm}$
 Kuat Lentur Nominal Sumbu Lemah (Y)
 Kuat Lentur Nominal Mn
 $Mn = Fy * Zy = 90.856.961 \text{ N.mm}$
 $1,6 * Fy * Sy = 91.236.814 \text{ N.mm}$
 Syarat:

$Mn = Mp = Fy * Zy \leq 1,6 * Fy * Sy \rightarrow$
 OKE

Tekuk Lokal Plat Sayap (Non-kompak)
 $Mp = 90.856.961 \text{ N.mm}$
 $Mr = 0,7 * Sy * Fy = 39.916.106 \text{ N.mm}$

$$Mn = [Mp - (Mp - Mr) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)]$$

$Mn = 93.232.318 \text{ N.mm}$
 $Mn \leq Mp = 90.856.961 \text{ N.mm}$
 $Mux = 567.902.589,00 \text{ Nmm}$ dan $Muy = 256,266,58 \text{ Nmm}$, sedangkan kapasitas momen nominal mencapai
 $Mnx = 1.245.390.019,50 \text{ Nmm}$ dan $Mny = 90.856.960,50 \text{ Nmm}$. Setelah dikalikan faktor reduksi, nilai kapasitas desain menjadi $\phi Mnx = 1.120.851.017,55 \text{ Nmm}$ dan $\phi Mny = 81.771.264,45 \text{ Nmm}$ dengan rasio interaksi lentur $0,510 \leq 1$. Nilai momen ultimit (Mu) yang terjadi pada balok lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas momen nominal (Mn) yang telah dikalikan faktor reduksi kekuatan (ϕMn). Dengan demikian, balok aman terhadap kegagalan lentur.

Kelangsingan Badan, $h/t_w \leq 2,24 * (E/Fy)^{0,5}$

$\rightarrow Cv$ dan ϕv Disesuaikan

$\phi V = 1$

$Cv = 1$

Luas Badan, $Aw = h * tw = 6.608 \text{ mm}^2$

Kuat Geser Nominal, $Vn = 0,6 * Fy * Aw * Cv$

$Vn = 1.407.504 \text{ N}$

Kekuatan Desain Geser, $\phi Vn = 1.407.504 \text{ N}$

Gaya Geser Akibat Beban Terfaktor, $Vu = 133.466,56 \text{ N}$

Kontrol Kuat Geser Pada Balok

$\phi Vn = 1.407.504 \text{ N} \geq Vu = 133.467 \text{ N}$

\rightarrow Geser OKE

Untuk gaya geser, diperoleh $Vu = 133.467 \text{ N}$ dan $\phi Vn = 1.407.504 \text{ N}$.

Gaya geser maksimum (Vu) yang terjadi masih berada di bawah kapasitas geser rencana (ϕVn). Hal ini menunjukkan bahwa balok tidak mengalami potensi kegagalan geser.

SNI 1729 2020 , Pasal G (Desai Komponen Struktur Untuk Geser)

Kuat Geser Akibat Pelelehan Geser

Kelangsingan Badan Profil $h/t_w = 103,25$

Batas Kelangsingan Badan Profil

$2,24 * (E / Fy)^{0,5} = 53,17$

Kontrol Interaksi Kombinasi Lentur dan Geser Untuk Sumbu Kuat (X)

$$\frac{Mux}{\phi Mnx} + \frac{Vu}{\phi Vn} \leq 1$$

Hasil kombinasi lentur-geser menunjukkan nilai interaksi $0,601 \leq 1$,

$$\frac{Muy}{\phi Mny} + \frac{Vu}{\phi Vn} \leq 1$$

sedangkan kombinasi lentur-tekan menghasilkan $0,57 \leq 1$.

Analisis stabilitas menunjukkan panjang tak terbreis lateral $L_b = 4.505$ mm, rasio kelangsingan $KL/r = 121,77 < 200$, dan kuat tekan desain $\phi P_n = 1.232.802,45$ N, menandakan elemen tidak mengalami tekuk lateral. Secara keseluruhan, semua parameter kekuatan memenuhi batas aman sesuai standar. Balok dalam sistem non prismatic *gable frame* bekerja secara terpadu dengan kolom dan elemen lainnya, sehingga tidak menunjukkan indikasi kegagalan stabilitas seperti buckling atau deformasi berlebih. Berdasarkan hasil analisis, elemen balok baja profil WF 850×200×8×12 mm pada struktur PT Unimotor Technology Indonesia:

1. Memenuhi syarat kekuatan lentur dan geser dengan nilai rasio interaksi $0,601 \leq 1$.
2. Aman terhadap kombinasi beban lentur-tekan dengan nilai interaksi $0,57 \leq 1$.
3. Tidak menunjukkan potensi tekuk lateral maupun lendutan berlebih.

Dengan demikian, struktur balok baja eksisting dinyatakan layak secara struktural dan memenuhi ketentuan SNI 1729:2020 sebagai acuan

perencanaan bangunan baja di Indonesia.

SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mutu baja eksisting dan mengevaluasi performa struktur *gable frame* non-prismatik di PT Unimotor Technology Indonesia terhadap standar nasional. Pengujian material baja Q355B menunjukkan mutu yang lebih tinggi dari nilai standar konservatif, dengan kekuatan tarik terendah (F_u) sebesar 495 MPa dari uji Brinell. Meskipun demikian, nilai standar konservatif ($F_y = 355$ MPa dan $F_u = 470$ MPa) digunakan sebagai input untuk pemodelan ulang struktur 3D menggunakan CSI ETABS V.21.0 guna memastikan keamanan desain terhadap variasi mutu material.

Analisis struktur terhadap berbagai kombinasi beban LRFD, termasuk beban gravitasi (DL, LL) dan beban lingkungan (angin W, gempa E), sesuai dengan SNI 1727-2020 dan SNI 1726-2019. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa elemen balok baja dengan profil WF 850 × 200 × 8 × 12 mm secara keseluruhan diklasifikasikan sebagai penampang non-kompak karena badan (*web*) balok tergolong non-kompak meskipun sayap (*flange*) tergolong kompak.

Meskipun terdapat klasifikasi tersebut, semua parameter kekuatan struktur balok baja memenuhi batas aman. Rasio interaksi lentur - geser, $0,601 \leq 1$, serta kombinasi lentur-tekan menunjukkan nilai $0,57 \leq 1$ sehingga menunjukkan perilaku aman. Selain itu, struktur juga aman terhadap tekuk

lateral. Berdasarkan hasil perhitungan dan evaluasi yang telah dilakukan, balok pada sistem *gable frame* dinyatakan aman dan memenuhi syarat kekuatan serta kelayakan struktur dan memenuhi ketentuan SNI 1729:2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahill, L.M., 2022, *ASM Handbook, Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation*. Materials Park, OH: ASM International.
- Davis, J.R., 2018, *Non-Destructive Testing and Evaluation for Manufacturing and Construction*. New York, NY: CRC Press.
- Ghozlan, A.A., & Ibrahim, M.H., 2021, *Discrepancies between mill test certificate and actual mechanical properties of structural steel sections*. Case Studies in Construction Materials, 14, e00508.
- Kaveh, A., & Farshad, M., 2018, *Optimum design of non-prismatic steel frames using metaheuristic algorithms*. Steel and Composite Structures, 29(1), 89-102.
- Maulana, R.F., & Imran, I., 2023, *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Portal Baja Non-Prismatik Mengacu pada SNI 1726-2019*. Jurnal Teknik Sipil ITB, 30(1), 85-98.
- Prakoso, B., & Santosa, W., 2022, *Analisis Pembebanan Struktur Pabrik Berdasarkan Kombinasi Beban SNI 1727:2020*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, 154-162.
- Putra, A.S., & Wijaya, I.K., 2020, *Efisiensi Rangka Baja Portal Atap Pelana (Gable Frame) pada Bangunan Industri*. Jurnal Teknik Sipil & Lingkungan, 5(2), 112-123.
- Susanto, H., & Prabowo, A., 2021, *Perbandingan Karakteristik Mekanis Baja Struktur Mutu Tinggi GB/T Q355B dan SNI BJ 55*. Jurnal Material dan Konstruksi, 11(1), 45-55.
- Tavil, A., & Çelik, A., 2019, *The effect of steel material properties on the seismic performance of industrial steel frames*. Journal of Constructional Steel Research, 155, 234-245.