EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN PABRIK AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PANEL SURYA

(Studi Kasus : Proyek PLTS PT XYZ)

(*Structural Evaluation Of Factory Buildings Due To Solar Panel Load Addition*)

Ahmad Luthfi Nahwi[1], Fadli Kurnia[1]
[1]Progaram Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
E-mail: nahwiluthfi@gmail.com

Diterima 15 Maret 2026, Disetujui 25 Mei 2026

ABSTRAK

Pemanfaatan energi terbarukan melalui instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap saat ini menjadi prioritas sektor industri untuk efisiensi energi dan reduksi emisi karbon. Namun, penambahan beban panel surya pada bangunan eksisting berpotensi mengubah konfigurasi beban dan memengaruhi keamanan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas struktur baja bangunan pabrik PT XYZ setelah penambahan beban mati tambahan (Superimposed Dead Load) dari sistem panel surya seberat 38 kg. Struktur yang ditinjau menggunakan sistem rangka portal kaku dengan material baja profil WF dan purlin CNP. Metode penelitian dilakukan melalui observasi lapangan (data primer) untuk memverifikasi kondisi fisik material dan simulasi numerik 3D berbasis Finite Element Method (FEM) menggunakan perangkat lunak SAP2000. Evaluasi kekuatan mengacu pada standar SNI 1727:2020 untuk pembebanan, SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, serta SNI 1729:2020 untuk spesifikasi desain baja dengan metode LRFD. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur eksisting masih memenuhi persyaratan keamanan dan kekuatan pasca penambahan beban PLTS. Elemen purlin mengalami dampak paling signifikan dengan kenaikan lendutan sebesar 177% dan momen lentur 177%, namun tetap aman dengan rasio utilitas maksimal 0,67. Elemen rafter dan kolom menunjukkan kinerja yang stabil, rafter hanya mengalami kenaikan rasio utilitas menjadi 0,030 (3%), sedangkan kolom sebagai elemen kritis memiliki rasio utilitas tertinggi sebesar 0,660 (66%) yang masih berada di bawah batas izin 1,0. Berdasarkan hasil tersebut, instalasi panel surya pada atap pabrik PT XYZ dinyatakan aman secara struktural dan layak diimplementasikan.

Kata kunci: *evaluasi struktur; PLTS atap; penambahan beban; gudang baja*

ABSTRACT

The utilization of renewable energy through rooftop Solar Power Plant (PLTS) installations is currently a priority for the industrial sector to achieve energy efficiency and carbon emission reduction. However, adding solar panel loads to existing buildings has the potential to alter load configurations and affect structural safety. This study aims to evaluate the structural steel capacity of the PT XYZ factory building following the addition of Superimposed Dead Load (SIDL) from a solar panel system weighing 38 kg. The structure under review utilizes a rigid portal frame system with Wide Flange (WF) steel profiles and C-Channel (CNP) purlins. The research methodology involved field observations (primary data) to verify the physical condition of the materials and 3D numerical simulations based on the Finite Element Method (FEM) using SAP2000 software. The strength evaluation refers to SNI 1727:2020 for loading, SNI 1726:2019 for earthquake resistance, and SNI 1729:2020 for steel design specifications using the LRFD method. The analysis results indicate that the existing structure still meets the safety and strength requirements after the addition of the PLTS load. The purlin elements experienced the most significant impact, with an increase in deflection by 177% and bending moment by 177%, yet they remain safe with a maximum utility ratio of 0,67. Rafter and column elements showed stable performance; the rafter utility ratio only increased to 0.030 (3%), while the column, as a critical element, maintained the highest utility ratio of 0.660 (66%), which is still below the allowable limit of 1.0. Based on these results, the solar panel installation on the PT XYZ factory roof is declared structurally safe and feasible for implementation.

Keywords: *structural assessment; rooftop solar PV; additional loading; steel warehouse*

PENDAHULUAN

Kemajuan sektor industri dan transformasi teknologi di Indonesia mendorong peningkatan kebutuhan energi listrik. Kondisi tersebut menuntut penyediaan energi yang andal, efisien, dan berkelanjutan. Transisi menuju Energi Baru Terbarukan (EBT), khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap, menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi konsumsi energi berbasis fosil dan emisi karbon [1], [2].

Pemanfaatan atap bangunan industri sebagai lokasi pemasangan PLTS memberikan keuntungan karena tidak memerlukan lahan tambahan dan memiliki potensi area instalasi yang besar [2], [3]. Namun, pemasangan modul fotovoltaik, mounting system, serta komponen pendukung menimbulkan tambahan beban permanen pada struktur atap. Pada bangunan eksisting, tambahan beban tersebut perlu dievaluasi karena struktur awal belum tentu dirancang untuk menerima beban PLTS [4][5][6].

Transisi menuju energi baru terbarukan (EBT), khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap, kini menjadi solusi strategis bagi sektor industri di Indonesia untuk menekan emisi karbon sekaligus mengoptimalkan efisiensi operasional listrik. Keterbatasan lahan menjadikan pemanfaatan atap bangunan eksisting sebagai alternatif yang paling ideal. Namun, integrasi sistem fotovoltaik ini membawa tantangan teknis berupa penambahan beban mati dari panel surya, rangka penopang, dan perangkat pendukung lainnya. Penambahan beban ini berpotensi memengaruhi integritas, kekakuan, dan keamanan struktur bangunan jika melebihi kapasitas desain awalnya.

Sebagai bentuk komitmen terhadap efisiensi energi, PT XYZ berencana mengimplementasikan sistem PLTS atap dengan menginstalasi 80 unit panel surya yang masing-masing memiliki kapasitas 710 Wp, sehingga total daya terpasang mencapai 56,8 kWp pada atap Gedung Refinery. Setiap bangunan dirancang dengan kapasitas pembebanan tertentu oleh karena itu penambahan sistem panel surya harus disertai dengan analisis struktur yang menyeluruh mencegah timbulnya deformasi maupun kegagalan pada elemen bangunan. Merujuk dari hal tersebut, penelitian ini dilakukan guna mengevaluasi kemampuan struktur eksisting bangunan pabrik PT XYZ dalam menahan tambahan beban akibat pemasangan sistem PLTS. Penelitian ini penting untuk memastikan keamanan, kekokohan struktur bangunan, menentukan kebutuhan perkuatan jika diperlukan, serta menjadi referensi teknis bagi penerapan energi hijau pada bangunan industri secara aman dan berkelanjutan.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik merupakan suatu kesatuan infrastruktur teknis yang mengintegrasikan modul surya, perangkat elektronika daya seperti *inverter*, sistem penyangga struktural, serta unit manajemen energi. Sistem ini beroperasi dengan mengonversi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik melalui mekanisme efek fotovoltaik.

Pembebanan

Dalam analisis struktur bangunan baja, pembebanan merupakan salah satu aspek fundamental yang menentukan keamanan, kekuatan, dan stabilitas bangunan. Setiap jenis beban memiliki karakteristik, arah kerja, serta pengaruh yang berbeda terhadap sistem struktur, sehingga perlu diperhitungkan secara cermat sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku, seperti SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain [7][8].
Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

- Beban Mati (*Dead Load*)
- Beban Hidup (*Live Load*)
- Beban Mati Tambahan (*Super Imposed Dead Load*)
- Beban Hidup Atap (*Roof Live Load*)
- Beban Angin (*Wind Load*)
- Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Komponen Struktural utama pada konstruksi baja khususnya pada bangunan bentang lebar seperti gudang, pabrik atau workshop

Purlin atau Gording

Gording atau purlin adalah komponen struktural sekunder pada atap yang dipasang di atas kuda-kuda atau rafter. Gording berfungsi sebagai dudukan langsung bagi penutup atap (seperti seng atau spandek) dan menyalurkan beban dari atap tersebut (beban mati, beban hidup atap, beban angin, dan beban hujan) ke struktur utama (kuda-kuda)[9].

Rafter

Rafter adalah elemen struktur utama pada atap (biasanya pada sistem *Gable Frame*) yang berfungsi sebagai balok miring untuk membentuk kemiringan atap. Rafter bertugas memikul beban dari struktur sekunder (seperti gording dan penutup atap) serta beban luar (angin, hujan, dan pekerja) untuk kemudian diteruskan ke kolom dan fondasi [9].

Kolom

Secara fungsional, kolom dalam sistem struktur baja bertindak sebagai media *transfer* beban vertikal dari bagian atas bangunan ke lapisan tanah pendukung melalui fondasi. Dalam aplikasinya pada gudang baja, kolom didesain untuk menahan kombinasi beban aksial dari beban mati serta beban hidup atap, sekaligus beban lateral berupa gaya geser gempa dan tekanan angin [9].

METODE

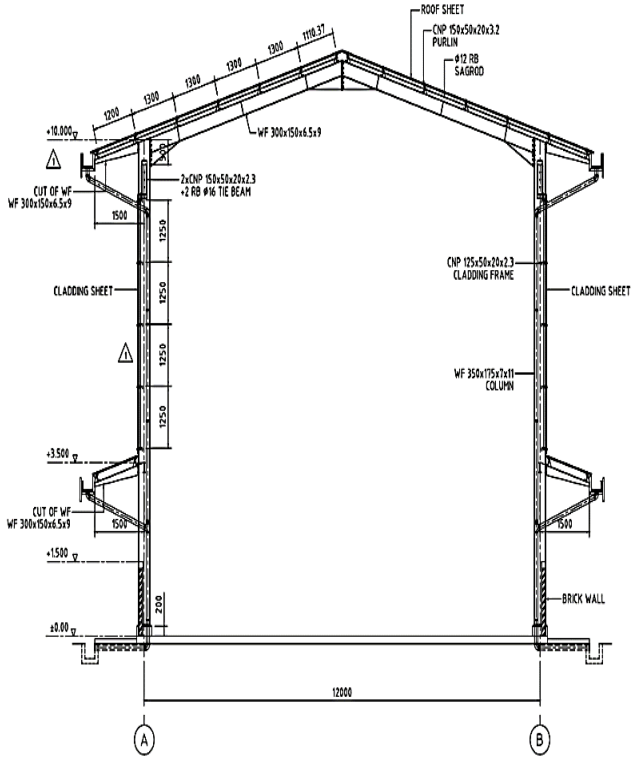
Lokasi penelitian ini berada di Lampung Selatan, Adapun gambar lokasi Proyek PLTS PT. XYZ di Lampung Selatan dapat dilihat pada Gambar dibawah ini



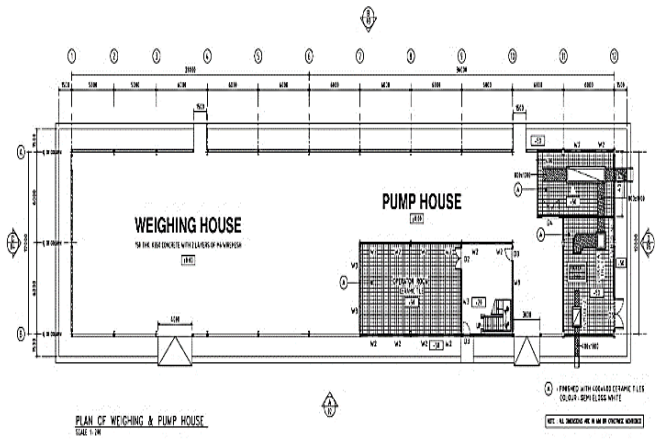
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data segmen eksisting yang telah disurvei

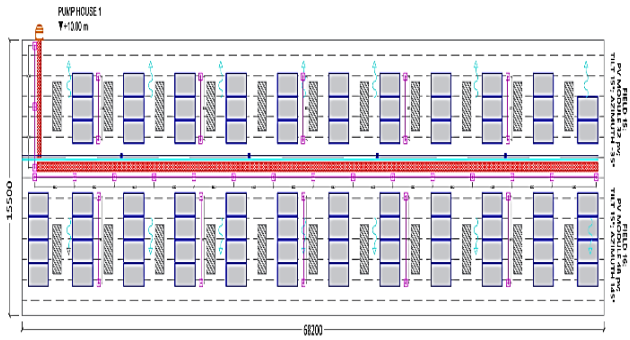
Nama Proyek	: Project PLTS OnGrid System PT XYZ
Luasan Atap	: 2.300 m^2
Tinggi Bangunan	: 10,000 m
Kolom	: WF 350x175x7x11
Rafter	: WF 300x150x6.5x9
Purlin	: CNP 150x75x20x3.2
Kemiringan atap	: 15°
Umur Bangunan	: 33 Tahun (Dibangun tahun 1992)
Jarak Rafter	: 6 m
Jarak Purlin	: 1,3 m
Lokasi	: Lampung Selatan



Gambar 2. Gambar Potongan *Pump House*

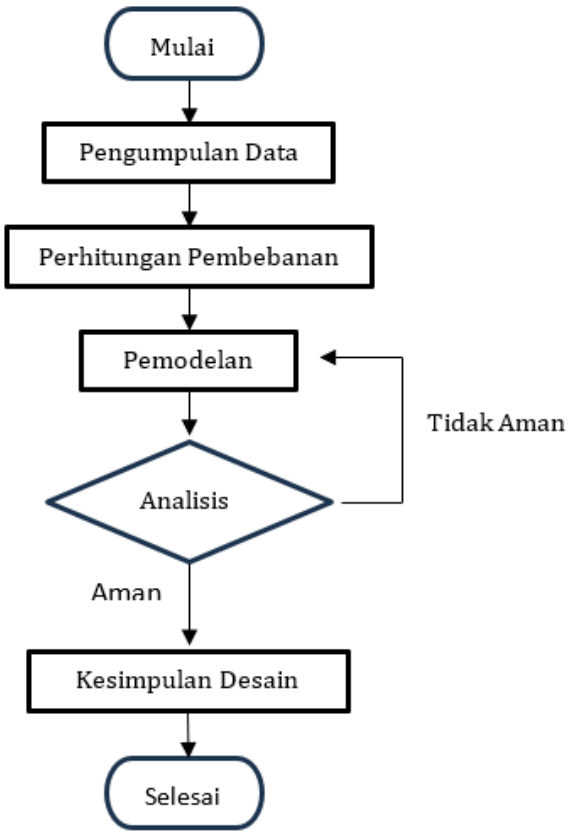


Gambar 3. Gambar Tampak Atas *Pump House*



Gambar 4. *PV Layout*

Tahapan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam sistematis melalui diagram alir berikut;



Gambar 5. Diagram Alir

Dalam Penelitian ini, metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan teknik simulasi numerik untuk memvalidasi hipotesis yang telah ditetapkan. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data sekunder seperti dokumen dan datasheet. Dan data primer yaitu data yang diperoleh langsung dari sumber objek penelitian melalui observasi lapangan, pengukuran fisik dan inspeksi visual.

Sebagai penelitian eksplanatori, fokus utama studi ini adalah mengevaluasi hubungan fungsional antar-variabel struktural. Hasil penelitian dinyatakan dalam satuan numerik yang mencakup nilai memen, ledutan, serta rasio tegangan guna memastikan akurasi dan objektivitas hasil evaluasi. Data yang diperoleh dari hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak SAP2000 akan dianalisis secara deduktif dengan membandingkannya terhadap standar SNI 1729:2020 untuk menarik kesimpulan mengenai keamanan struktur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hitung pembebanan

Beban Mati (DL)

a. CNP 150x75x20x3,2 mm
Diketahui,
A = (H + (2 x B) + (2 x C)) x t
A = (150 + (2 x 75) + (2 x 20) x 3,2
A = (150 + 150 + 40) x 3,2
A = 340 x 3,2
A = 1088 mm2 = 10,88 cm2 = 0,001088 m2
Jadi,
q = A x 1 m x 7850 kg/m3
q = 0,001088 m2 x 1m x 7850 kg/m3
q = 8,54 kg/m

b. WF 300x150x6,5x9 mm
Diketahui,
Af = 2.700 mm2
Aw= 1.833 mm2
Jadi, untuk luasan penampang WF 300 x 150,
A = Af + Aw
A = 2.700 + 1.833
A = 4.533 mm2 = 45,33 cm2
Setelah didapat nilai A, berat sendiri wf bisa dihitung dengan,
q = A x 1 m x 7850 kg/m3
q = 0,004533 m2 x 1m x 7850 kg/m3
q = 35,58 kg/m

c. WF 350x175x6,5x9 mm
Diketahui,
Af = 3.850 mm2
Aw= 2.296 mm2
Jadi, luasan penampang kolom,
A = Af + Aw
A = 3.850 + 2.296
A = 6.146 mm2 = 61,46 cm2
Setelah didapat nilai A, berat sendiri wf bisa dihitung dengan,
q = A x 1 m x 7850 kg/m3
q = 0,006146 m2 x 1m x 7850 kg/m3
q = 48,24 kg/m

Beban Mati Tambahan (SIDL)

a. Beban penutup atap
Zincalum 10 mm = 7,5 kg/m2
Beban garis Zincalum 10 mm (q atap)
= berat sendiri x jarak antar purlin
= JN 7,5 kg/m2 x 1,3 m
= 9,75 kg/m

b. Beban PV Module
1 Table PV Module (4 pcs) = 38,3 kg x 4 pcs
= 153 kg
Beban garis PV Module terhadap purlin
= berat 1 table / 5 Purlin
= 153 kg / 5 purlin
= 30,6 kg/m

c. Beban *Walkway*
Berat *Walkway* = 29,12 kg
Luas *Walkway* = 1,17 m2
Weight = 24,8 kg/m2
Karena walkway di install tegak lurus dengan rafter, maka untuk beban garis dari walkway adalah :
q = berat luasan x lebar walkway
q = 24,8 kg/m2 x 0,393 m
q = 9,746 kg/m

Beban Hidup Atap (Lr)

Beban hidup atap Lr = 96 kg/m2
Beban hidup atap garis gording = Lr x jarak antar gording
= 96 kg/m2 x 1,3 m
= 124,8 kg/m

Beban Angin (WL)

Berikut beberapa parameter yang digunakan untuk analisis beban angin berdasarkan SNI 1727:2020 [7]:

a. Faktor arah angin (Kd). Pasal 26.6
Berdasarkan bangunan Gedung yang menahan gaya angin utama digunakan nilai 0,85
b. Katogori kekasaran permukaan tanah. Pasal 26.7
Karena Gudang PT XYZ berapa pada tepi daerah perkotaan, nilai kategori kekasaran permukaan yang digunakan adalah = B
c. Faktor topografi (Kzt). Pasal 26.8
Dikarenakan kondisi gedung pada lokasi PT XYZ termasuk struktur lain yang tidak memenuhi semua kondisi, maka nilai Kzt yang digunakan adalah = 1.0
d. Faktor efek hembusan angin / gust factor. Pasal 26.11
Ditentukan untuk semua efek hembusan angin pada bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh menggunakan nilai = 0,85

Beban Hujan (R)

Beban hujan atau *Rain Load* dipahami sebagai beban akumulasi massa air yang terjadi di atap saat hujan deras.

Beban hujan	R	= 20 kg/m2 (SNI 1727)
Beban hujan garis	qrain	= R x jarak gording
		= 20 kg/m2 x 1,3 m
		= 26 kg/m

Beban Gempa

Tahapan perhitungan dilakukan secara manual dengan urutan sebagai berikut :

1. Penentuan parameter percepatan gempa terpetakan (Ss dan S1).
   Berdasarkan peta hazard gempa Indonesia, PT XYZ yang berlokasi di Lampung Selatan ditentukan nilai Ss (percepatan batuan dasar pada perioda pendek 0,2 detik) dengan nilai 0,8739 dan S1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) dengan nilai 0,4306.
2. Klasifikasi situs dan Faktor Aplifikasi (Fa dan Fv)
   Untuk mendapatkan nilai faktor amplifikasi seismic pada periode pendek (Fa) berdasarkan nilai Ss = 0,8739, dan kalsifikasi situs tanah adalah tanah lunak = SE

X1	= 0,75	Y1	= 1,3
Ss	= 0,874	**Fa**	**= 1,201**
X2	= 1	Y2	= 1,1

   Untuk mendapatkan nilai faktor amplifikasi seismic pada periode panjang 1 detik (Fv) berdasarkan nilai S1 = 0,8739, dan kalsifikasi situs tanah adalah tanah lunak = SE

X1	= 0,4	Y1	= 2,4
S1	= 0,430	**Fv**	**= 2,34**
X2	= 0,5	Y2	= 2,2

3. Penetapan parameter respons spektra (S_{DS} & S_{D1})
   Sds = 2/3 x Fa x Ss
   = 2/3 x 1,201 x 0,874
   = 0,700
   Sd1 = 2/3 x Fv x S1
   = 2/3 x 2,34 x 0,430
   = 0,671
4. Penentuan kategori resiko & faktor keutamaan (I_e)
   Berdasarkan fungsi bangunan sebagai gudang, struktur diklasifikasikan ke dalam Kategori Risiko III. Hal ini menetapkan Faktor Keutamaan Gempa (Ie) sebesar 2,8. Parameter ini berfungsi sebagai pengali gaya gempa berdasarkan tingkat kepentingan bangunan dan risiko terhadap keselamatan publik jika terjadi kegagalan structural.
5. Penentuan kategori Desain Seismik (KDS)
   Kategori Desain Seismik (KDS) ditetapkan berdasarkan nilai S_{DS}, S_{D1}, dan Kategori Risiko bangunan.
   Ketegori desain seismik berdasarkan parameter respon desain percepatan pada periode pendek (Sds), KDS = D
   Ketegori desain seismik berdasarkan parameter respon desain percepatan pada periode 1 detik (Sd1), KDS = D
6. Pemilihan sistem struktur dan koefisien modifikasi respon (R)
   Sistem parameter struktur berdasarkan KDS

Sistem struktur = SRBPMK (Struktur Rangka Baja Pemikul Momen Khusus)
Koefisien modifikasi respon, R = 8
Faktor kuat struktur, Ω = 3
Faktor perbesaran defleksi, Cd = 5.5

Sebelum Diberikan Beban PLTS

Tabel 1 Tabel Rekap Momen yang Bekerja Sebelum Ditambahkan Beban Panel Surya

Elemen struktur	Jenis Pemeriksanaan	Beban Terjadi (u)		Beban Terpasang (U/ϕRn)		Rasio (U/ϕRn)	Status
Purlin CNP 125	Ledutan (Δ)	0,6039	cm	2,5	cm	0,242	AMAN
	Momen Lentur (M ux)	7.248	kg/cm^2	112.896	Kg/cm^2	0,064	AMAN
	Momen Lentur (M uy)	121,36	kg/cm^2	32.520	Kg/cm^2	0,004	AMAN
	Gaya Geser (V u)	48,32	kg	6.220	Kg	0,008	AMAN
Rafter WF 300	Ledutan (Δ)	0,052	Cm	2,5	Cm	0,021	AMAN
	Momen Lentur (M u)	19.080	kg.cm	1.038.960	Kg.cm	0,018	AMAN
	Gaya Geser (V u)	127,2	kg	25.272	Kg	0,005	AMAN
Kolom WF 350	Ledutan (Δ)	1,65	cm	2,5	Cm	0,660	AMAN
	Aksial Tekan (P u)	7.235	kg	18.923	Kg	0,382	AMAN
	Momen Lentur (M u)	10.471	kg.cm	1.674.000	Kg.cm	0,006	AMAN
	Gaya Geser (V u)	500	kg	31.752	Kg	0,016	AMAN

Analisis elemen purlin (CNP 150x74)

Purlin atau gording berfungsi sebagai penumpu langsung atap zincalum.

- Efisiensi Kapasitas: Rasio tertinggi pada purlin hanya berada di angka 0,24 (24%) untuk pemeriksaan lendutan. Artinya, beban yang bekerja saat ini bahkan tidak sampai 30% dari batas maksimal yang mampu dipikul.
- Kekakuan: Lendutan aktual hanya 0,60 cm, jauh di bawah batas izin sebesar 2,5 cm. Hal ini menunjukkan purlin sangat kaku dan tidak mengalami deformasi yang berarti.
- Gaya Dalam: Baik momen lentur (Mux, Muy) maupun gaya geser (Vu) memiliki rasio yang mendekati nol (0,004 - 0,064). Profil CNP 125 yang terpasang tergolong kuat untuk beban atap eksisting.

Analisis elemen rafter (WF 300x150)

Rafter adalah rangka utama atap yang menerima beban dari gording.

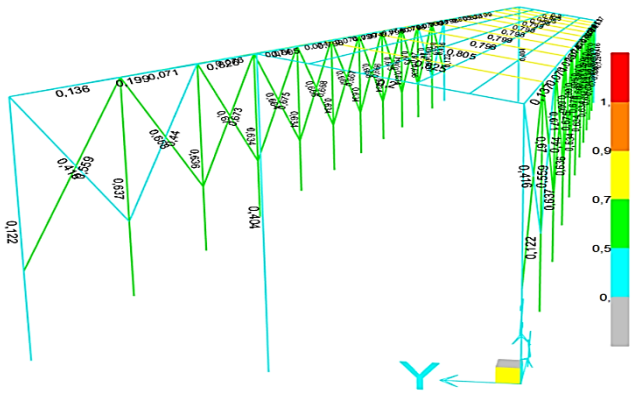
- Stabilitas Tinggi: Rafter WF 300 memiliki tingkat utilitas yang paling rendah di antara elemen lainnya, dengan rasio lendutan dan momen hanya sekitar 1,8% hingga 2,1%.
- Kapasitas Sisa: Dengan rasio sebesar ini, rafter hampir tidak merasakan beban yang signifikan dari atap zincalum saja. Kapasitas sisa yang mencapai 98% memberikan indikasi awal bahwa rafter akan sangat aman jika nantinya ditambahkan beban PLTS.

Analisis elemen kolom (WF 350x175)

Kolom merupakan elemen vertikal utama yang menyalurkan seluruh beban ke pondasi.

- Elemen Paling Kritis: Dibandingkan purlin dan rafter, kolom memiliki beban kerja yang paling tinggi. Rasio lendutan mencapai 0,660 (66%) dan aksial tekan sebesar 0,382 (38,2%).
- Keseimbangan Struktur: Meskipun angka 66% adalah yang tertinggi di tabel, statusnya tetap AMAN. Hal ini wajar karena kolom memikul berat sendiri seluruh struktur atas beserta gaya lateral (angin/gempa).
- Kapasitas Tekan: Rasio aksial sebesar 0,382 menunjukkan kolom masih memiliki ruang sekitar

61% lagi sebelum mencapai batas leleh atau tekuk (*buckling*).



Gambar *6.* *Stress Ratio* pada Gudang Baja Sebelum Ditambah Beban PLTS.

Tabel 2 Rekap Perbandingan Sebelum dan Sesudah ditambakan PLTS

Elemen struktur	Jenis Pemeriksanaan	Beban Terjadi (u)		Beban Terpasang (U/ϕRn)		Rasio (U/ϕRn)	Status
Purlin CNP 125	Ledutan (Δ)	1,6744	cm	2,5	cm	0,670	AMAN
	Momen Lentur (M ux)	20.097	kg/cm^2	112.896	Kg/cm^2	0,178	AMAN
	Momen Lentur (M uy)	336,52	kg/cm^2	32.520	Kg/cm^2	0,010	AMAN
	Gaya Geser (V u)	133,98	kg	6.220	kg	0,022	AMAN
Rafter WF 300	Ledutan (Δ)	0,0812	Cm	2,5	cm	0,032	AMAN
	Momen Lentur (M u)	31.230	kg.cm	1.038.960	Kg.cm	0,030	AMAN
	Gaya Geser (V u)	208,2	kg	25.272	Kg	0,008	AMAN
Kolom WF 350	Ledutan (Δ)	1,65	cm	2,5	Cm	0,660	AMAN
	Aksial Tekan (P u)	8.000	kg	18.923	Kg	0,423	AMAN
	Momen Lentur (M u)	11.757	kg.cm	1.674.000	Kg.cm	0,007	AMAN
	Gaya Geser (V u)	500	kg	31.752	kg	0,016	AMAN

Analisis elemen purlin

Purlin merupakan elemen yang menerima dampak paling drastis karena menjadi tumpuan langsung panel surya.

- Peningkatan Beban: Terjadi lonjakan beban yang signifikan pada semua jenis pemeriksaan. Lendutan meningkat 177% (dari 0,60 cm menjadi 1,67 cm), sementara momen lentur (Mx) naik 177%.
- Rasio Kapasitas: Meskipun terjadi kenaikan beban di atas 150%, rasio utilitas akhir untuk lendutan hanya mencapai 0,67 (67%). Hal ini dimungkinkan karena kondisi awal purlin sedikit longgar dengan rasio hanya 0,242.
- Kesimpulan: Purlin masih sangat aman memikul PLTS karena kapasitas tersisa masih lebih dari 30%.

Analisis elemen rafter

Rafter berfungsi menyalurkan beban dari purlin ke kolom.

- Penambahan PLTS meningkatkan beban momen dan geser sebesar 64%. Lendutan pada rafter juga naik sebesar 56%.
- Efisiensi Struktur: Rafter merupakan elemen yang paling "santai" dalam struktur ini. Sebelum ada PLTS, rasionya hanya 0,018 (1,8%), dan setelah ditambah PLTS hanya naik menjadi 0,030 (3%).
- Kesimpulan: Rafter memiliki cadangan kekuatan yang sangat melimpah, sehingga penambahan beban PLTS hampir tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap integritasnya.

Analisis elemen kolom

Kolom adalah pemikul beban utama yang menjaga stabilitas vertikal dan lateral seluruh bangunan.

- Stabilitas Lateral (Lendutan): nilai lendutan pada kolom tidak mengalami kenaikan (0%) dan tetap berada pada angka 1,65 cm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan beban mati dari PLTS tidak memengaruhi goyangan lateral bangunan yang biasanya didominasi oleh beban angin atau gempa.
- Beban Tekan (Aksial): Terjadi kenaikan beban tekan sebesar 11% (dari 7.235 kg menjadi 8.000 kg). Rasio aksial tekan meningkat dari 0,382 menjadi 0,423.
- Titik Kritis: Kolom tetap menjadi elemen dengan rasio utilitas tertinggi dalam laporan ini, yaitu 0,660 (66%) pada aspek lendutan.

Penambahan beban PLTS berakibat meningkatnya momen lentur hingga 177% hal tersebut mengharuskan perlunya dilakukan evaluasi teknis menyeluruh terhadap kapasitas baja WF eksisting dengan tujuan memastikan keamanan struktur, disertai proteksi korosi, inspeksi rutin dan perawatan berkala agar integritas struktur tetap terjaga serta mencegah resiko keruntuhan dimasa mendatang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur gedung pabrik PT XYZ terhadap penambahan beban sistem PLTS, dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan PT XYZ dinyatakan masih memenuhi persyaratan keamanan dan kekuatan sesuai standar SNI 1729:2020 dan SNI 1727:2020 pasca penempatan beban panel surya. Seluruh elemen struktural utama yaitu; purlin, rafter dan kolom berada dalam status "AMAN" dan rasio utilitas (U/ϕRn) dibawah batas izin 1,0. Penambahan beban panel surya mengakibatkan peningkatan beban lateral dan juga lateral, namun tidak mengurangi integritas struktur secara keseluruhan.

Analisis spesifik pada elemen struktur menunjukkan Purlin CNP 150 mengalami dampak beban paling signifikan yaitu peningkatan ledutan dan juga momen lentur hingga 177%, akan tetapi rasio kapasitas maksimalnya hanya mencapai 0,67 yang artinya purlin masih memiliki cadangan kekuatan sebesar 33%. Dan untuk Rafter WF 300 menunjukkan tingkat stabilitas yang sangat tinggi dengan kenaikan rasio utilitas momen hanya sebesar 1,2% (dari 0,018 menjadi 0,030) dan kapasitas sisa diangka 97%. Sementara itu, kolom wf 350 sebagai elemen kritis dengan rasio tertinggi, kolom mengalami peningkatan aksial tekan sebesar 11% walaupun dalam rasio ledutan maksimum yaitu 0,660, tidak merubah pasca penambahan PLTS menunjukkan kapasitas kolom masih berada dikondisi aman dengan margin sebesar 34%.

Dengan demikian, struktur gedung pabrik PT XYZ dinyatakan layak dan aman untuk mendukung pemasangan sistem PLTS tanpa memerlukan perkuatan struktur tambahan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Duan, Y. He, X. Sun, H. Yu, Y. Zhang, and Y. Zhang, "Design and comprehensive assessment of roof photovoltaic retrofits for existing buildings," Solar Energy, vol. 288, Art. no. 113280, 2025, doi: 10.1016/j.solener.2025.113280.

[2] R. Nurdin, A. A. Setiawan, and L. M. Putranto, "Analisa teknis penerapan pembangkit listrik tenaga surya atap untuk kawasan industri," JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), vol. 7, no. 2, pp. 331–340, 2022, doi: 10.31544/jtera.v7.i2.2022.331-340.

[3] D. J. Damiri and A. A. Nugraha, "Technical performance and economic feasibility simulation of 200kWP rooftop solar photovoltaic on grid on industrial estate factory building with Helioscope software," Jurnal Rekayasa Elektrika, 2021.

[4] D. Y. Sari and A. R. Pratiwi, "Analisis kelayakan struktur eksisting pada bangunan warehouse untuk pemasangan panel surya," Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan, vol. 6, no. 1, pp. 244–253, 2024, doi: 10.52005/teslink.v6i1.405.

[5] F. Mostofi, O. B. Tokdemir, and V. Togan, "Structural performance of an existing building roof subjected to additional PV panel load," in Proc. 2nd Int. Conf. Photovoltaic Science and Technologies (PVCon), 2020, pp. 1–6, doi: 10.1109/PVCon51547.2020.9757801.

[6] S. Mendes, J. Ellowitz, and H. Xu, "Evaluation of existing buildings for feasibility of photovoltaic array installation," in Forensic Engineering 2022, 2022, doi: 10.1061/9780784484548.008.

[7] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727:2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta, Indonesia: BSN, 2020.

[8] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Jakarta, Indonesia: BSN, 2019.

[9] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1729:2020: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (ANSI/AISC 360-16, IDT). Jakarta, Indonesia: BSN, 2020.