

Evaluasi Kinerja Dan Rencana Perkuatan Rangka Atap Gedung Gereja Katedral Jayapura Pasca Gempa Jayapura 2023

*Hery Dualembang¹, Riswandy Loly Paseru²

^{1,2} Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih; Jayapura

ARTICLE INFORMATION

Received: September 05, 2024

Revised: March 15, 2025

Accepted: April 28, 2025

Available online: April 30, 2025

KEYWORDS

steel, performance evaluation, earthquake, reinforcement.

* CORRESPONDENCE

herydualembang@gmail.com

A B S T R A C T

The majority of areas in Indonesia, such as the city of Jayapura, are categorized within zones of moderate to high seismic intensity. On February 9, 2023, a 5.4 magnitude earthquake hit Jayapura, resulting in damage to various structures, including the Cathedral Church. Assessments conducted after the earthquake revealed structural issues, including cracks in walls and significant deflection in the roof truss system. From the structural assessment of the current roof, it was determined that eleven truss elements had failed, and every rafter showed deflection surpassing the permissible limit of $L/240$. The reinforcement involved steel elements and reconfigured the truss system into a Cremona-type steel truss framework with WF 250.125.6.9 and UNP 75.40.5 profiles. Connections were established with chemical anchors and endplates between the steel profiles and 30×50 cm concrete beams, along with welded joints linking the steel elements. Evaluation results indicated that the enhanced structure achieved a secure performance level and complied with applicable, especially SNI 1729:2020 for structural steel design. This situation emphasizes the significance of evaluating buildings after an earthquake and implementing specific reinforcement strategies to regain structural stability and safety.

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan peristiwa getaran atau guncangan yang terjadi pada permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi [1]. Sebagian besar gempa bumi disebabkan oleh pelepasan energi akibat pergeseran atau pertemuan antara lempeng-lempeng tektonik [2]. Pelepasan energi mengakibatkan terjadinya gelombang seismik yang dirasakan di permukaan bumi dan dapat menyebabkan kerusakan yang salah satunya berdampak pada infrastruktur [3].

Jayapura merupakan wilayah dengan intensitas gempa yang tinggi. Pada awal tahun 2023, gempa bumi mengguncang Kota Jayapura dan sekitarnya. Dikutip dari akun Twitter BMKG (@infoBMKG), gempa bumi di Jayapura, Papua, terjadi pada Kamis, 9 Februari 2023, pukul 13.28 WIB dengan magnitudo 5,4 pada kedalaman 10 km. Titik episentrum gempa terletak pada koordinat 2.60 lintang selatan dan 140.66 bujur timur [4]. Gempa tersebut mengakibatkan beberapa gedung di Kota Jayapura mengalami kerusakan.

Salah satu bangunan yang terdampak adalah Paroki Gereja Katedral Kristus Raja Jayapura yang masih dalam tahap pembangunan gedung. Gereja ini merupakan sebuah gereja Katolik di Jayapura, Papua. Paroki Gereja Katedral Kristus Raja Jayapura memainkan peran penting dalam pembentukan komunitas agama, dengan menjadi simbol kehadiran gereja di tanah Papua. Proses pembangunan terdiri dari beberapa tahapan pekerjaan yang secara umum terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu pekerjaan struktur bawah (*sub structure*) dan pekerjaan struktur atas (*upper structure*).

Pembangunan gereja memasuki tahap akhir (*finishing*) saat gempa terjadi. Dampak dari gempa mengakibatkan beberapa kerusakan pada pekerjaan arsitektur serta terjadinya defleksi pada struktur rangka atap. Apabila tidak segera dilakukan perbaikan, defleksi tersebut dapat berkembang menjadi kerusakan struktural yang lebih serius, khususnya saat struktur mengalami getaran seismik pada kejadian gempa berikutnya. Oleh karena itu, diperlukan analisis evaluasi kinerja kondisi eksisting bangunan dan rencana perkuatan struktur untuk memastikan keamanan dan ketahanan bangunan terhadap gempa di masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

Evaluasi kinerja struktur gedung tidak hanya berfokus pada kondisi fisik bangunan, tetapi juga mencakup analisis respons gedung terhadap beban dinamis seperti gempa bumi atau angin kencang. Ini termasuk perhitungan kekuatan struktur menggunakan perangkat lunak rekayasa dan pemantauan kondisi gedung melalui teknologi canggih [5]. Evaluasi kinerja struktur gedung bertujuan untuk menilai kemampuan elemen-elemen struktural dalam menahan beban yang diberikan, memastikan bahwa struktur tetap aman, stabil, dan dapat memenuhi standar keselamatan yang berlaku. Proses ini melibatkan pemeriksaan visual terhadap kerusakan, penggunaan metode analisis struktur, serta pengujian fisik terhadap material yang digunakan [6]. Lokasi penelitian terletak koordinat $2^{\circ}31'53''\text{S}$ $140^{\circ}43'19''\text{E}$ di Jl. Sulawesi No.15, Dok V, Kota Jayapura, Provinsi Papua, Indonesia seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Layout Lokasi Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data primer yaitu tinjauan langsung dilapangan dan data sekunder berupa data pelaksanaan diantaranya gambar kerja (*shop drawing*), gambar terlaksana (*as built drawing*), laporan pekerjaan struktur termasuk laporan uji material dan spesifikasi teknis pekerjaan struktur.

2.2 Survey Kondisi Eksisting Gedung

Pemeriksaan kondisi eksisting merupakan langkah awal yang menentukan dalam proses retrofitting bangunan, karena semua keputusan perbaikan didasarkan pada hasil identifikasi awal tersebut [7]. Survey kondisi eksisting struktur diperlukan untuk memastikan bahwa elemen-elemen struktural yang ada, seperti kolom, balok, dan fondasi, tetap memenuhi standar keselamatan yang diperlukan [8]. Pada survey dilakukan pengukuran defleksi menggunakan *total*

station, hasil pengukuran akan dibandingkan dengan defleksi maksimum yang di iijinkan. Untuk elemen atap, defleksi maksimum yang di iijinkan adalah sebesar $1/240$ bentang [9]. Kondisi eksisting dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Rangka Atap Eksisting Gereja Katedral Jayapura

2.3 Evaluasi Kinerja Gedung

a. Pemodelan struktur

Langkah awal adalah membuat model struktur gedung menggunakan software, pada penelitian ini digunakan software SAP2000. Pemodelan struktur dalam tiga dimensi (3D) memungkinkan representasi geometri struktur secara menyeluruh, termasuk interaksi antar elemen, perilaku ruang, serta pengaruh pembebanan dalam arah longitudinal, transversal, dan vertical [10]. Pemodelan dibuat semirip mungkin untuk mewakili karakteristik fisik dan mekanis struktur yang ditinjau.

b. Analisis beban bekerja

Analisis dilakukan sesuai beban yang bekerja pada struktur atap bangunan yaitu beban mati (DL), Beban Mati Tambahan (SIDL), beban hidup atap (Lr), beban angin (W_x dan W_y) sesuai SNI 1727:2020 [11], beban gempa dianalisis dengan beban dinamik metode respons spektrum yaitu merupakan pendekatan analisis dinamik yang mempertimbangkan respons struktur terhadap getaran tanah berdasarkan spektrum respons percepatan, sehingga dapat memperkirakan gaya inersia maksimum yang terjadi selama gempa bumi [12].

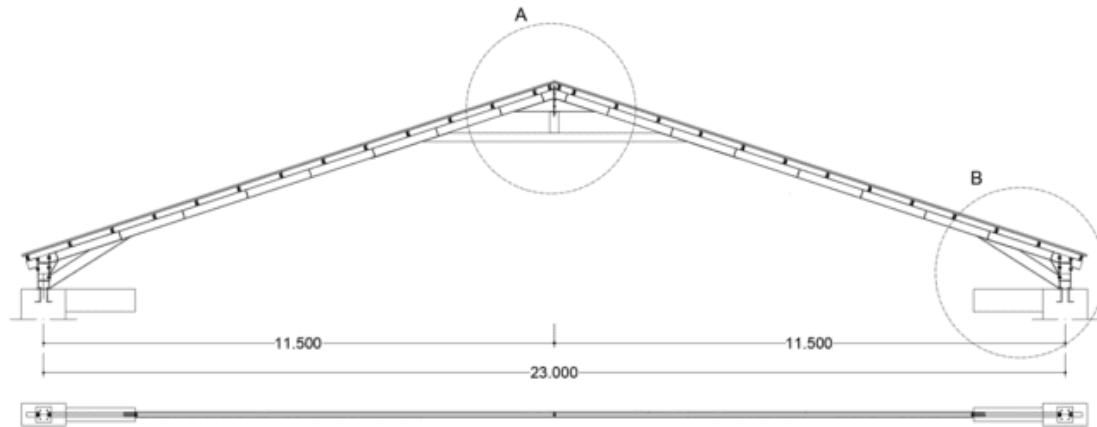
c. Pemodelan perbaikan struktur

Berdasarkan hasil analisis, selanjutnya akan dilakukan pemodelan perkuatan struktur. Perkuatan struktur merujuk pada proses meningkatkan kapasitas dan kekuatan struktur yang sudah ada agar dapat menahan beban yang lebih besar atau memperbaiki kerusakan yang terjadi pada elemen struktural. Perkuatan struktur baja yang mengalami kerusakan atau penurunan kapasitas harus dilakukan dengan metode yang sesuai dengan ketentuan yang terdapat dalam standar yang berlaku [13].

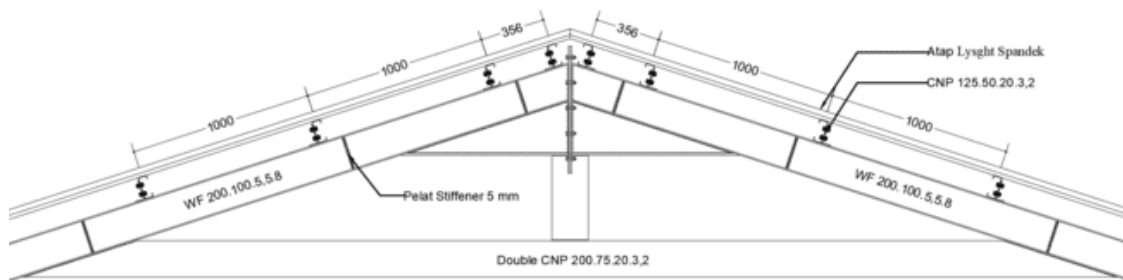
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Struktur Eksisting

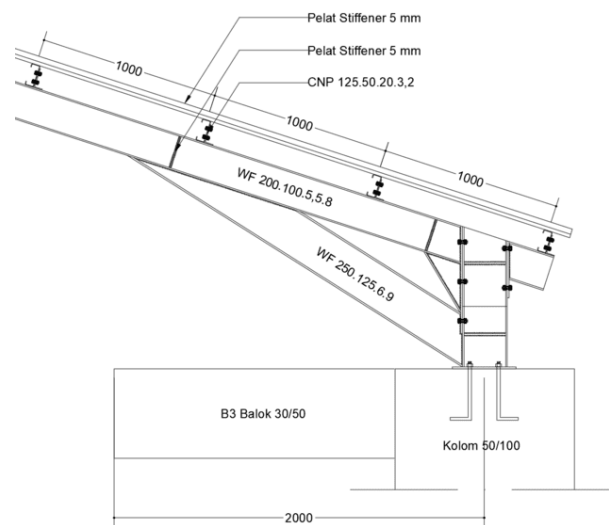
Detail profil baja digunakan pada struktur eksisting atap adalah seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut:



Gambar 3. Rangka Atap Gedung Gereja Katedral Jayapura



DETAIL A



DETAIL B

Gambar 4. Detail Rangka Atap Gedung Gereja Katedral Jayapura

3.2 Defleksi Atap Eksisting

Analisis defleksi pada balok rafter rangka atap Gedung Gereja Katedral Jayapura seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Defleksi pada balok rafter angka atap Gedung Gereja Katedral Jayapura eksisting

GRID	Panjang Bentang (mm)	Defleksi		Defleksi Ijin (mm)	Keterangan	
		Sisi Kanan (mm)	Sisi Kiri (mm)		Sisi Kanan	Sisi Kiri
4	12000	125	120	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
5	12000	130	125	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
6	12000	125	115	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
7	12000	115	120	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
8	12000	105	125	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
9	12000	115	125	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
10	12000	120	115	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
11	12000	115	125	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
12	12000	120	120	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
13	12000	115	115	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi
14	12000	115	120	50	tidak memenuhi	tidak memenuhi

Tabel 1 memperlihatkan bahwa semua elemen struktur balok rafter melebihi defleksi yang di iijinkan yaitu $L/240$.

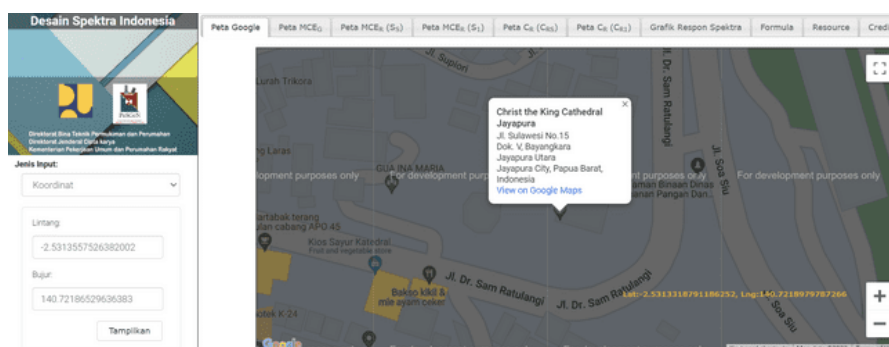
3.3 Analisis Beban

Derat sendiri (*Dead Load/DL*) dihitung secara otomatis oleh software, sedangkan untuk beban mati tambahan (*Super Imposed Dead Load/SIDL*), Beban hidup atap (*Lr*), Beban Hujan (*R*) dapat dilihat pada Tabel 2.

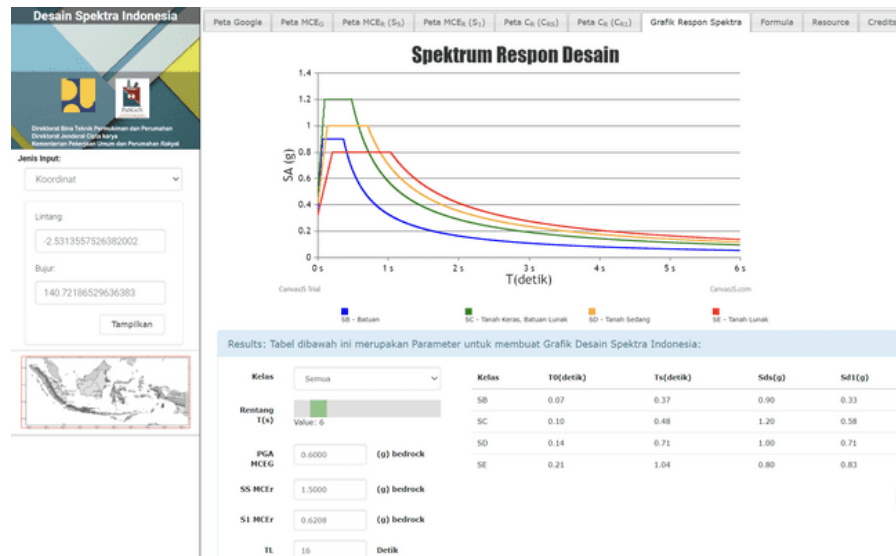
Tabel 2. Beban SIDL, *Lr*, dan *R* Gedung Gereja Katedral Jayapura

Jenis Beban	Beban	Keterangan
SIDL		
- Atap	0,04 kN/m ²	(Spesifikasi atap Lysght Spandek)
- Elektrikal	0,05 kN/m ²	(Tabel C3.1-1, SNI 1727:2020)
- Mekanikal	0,24 kN/m ²	(Tabel C3.1-1, SNI 1727:2020)
- Penggantung plafond	0,12 kN/m ²	(Tabel C3.1-1, SNI 1727:2020)
- Plafond	0,12 kN/m ²	(Tabel C3.1-1, SNI 1727:2020)
Lr	0.96 kN/m ²	(Tabel 4.3-1, SNI 1727:2020)
R	0.0245 kN/m ²	(Pasal 8.3, SNI 1727:2020)

Beban gempa diambil berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 [14] dengan parameter sesuai seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Peta dan koordinat Gedung Gereja Katedral Jayapura



Gambar 6. Parameter gempa Gedung Gereja Katedral Jayapura

Melihat pada HB 212-2002, Indonesia masuk level I. Beban angin yang digunakan adalah untuk periode ulang 50 tahun dengan kecepatan angin dihitung menggunakan Persamaan 1 [15].

$$V_R = 70 - 56R^{-0,1} \quad (1)$$

$$V_R = 32,13 \text{ m/s}$$

$$= 71,88 \text{ mph}$$

Tinggi bangunan adalah 17,88 m termasuk Gedung bertingkat rendah yaitu dengan ketinggian kurang dari 18 m sehingga diterapkan prosedur amplop sesuai pasal 28, SNI 1727. Dengan sudut atap sebesar 18°, diperoleh koefisien tekanan eksternal desain seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien tekanan eksternal desain Gedung Gereja Katedral Jayapura

Kasus beban A	1	2	3	4
GC _{pf}	0.512667	-0.69	-0.46533	-0.41133
	1E	2E	3E	4E
GC _{pf}	0.774667	-1.07	-0.66867	-0.612

Kasus beban B	1	2	3	4	5	6
GC _{pf}	-0.45	-0.69	-0.37	-0.45	-0.40	-0.29
	1E	2E	3E	4E	5E	6E
GC _{pf}	-0.48	-1.07	-0.53	-0.48	-0.61	-0.43

3.4 Kombinasi Pembebanan

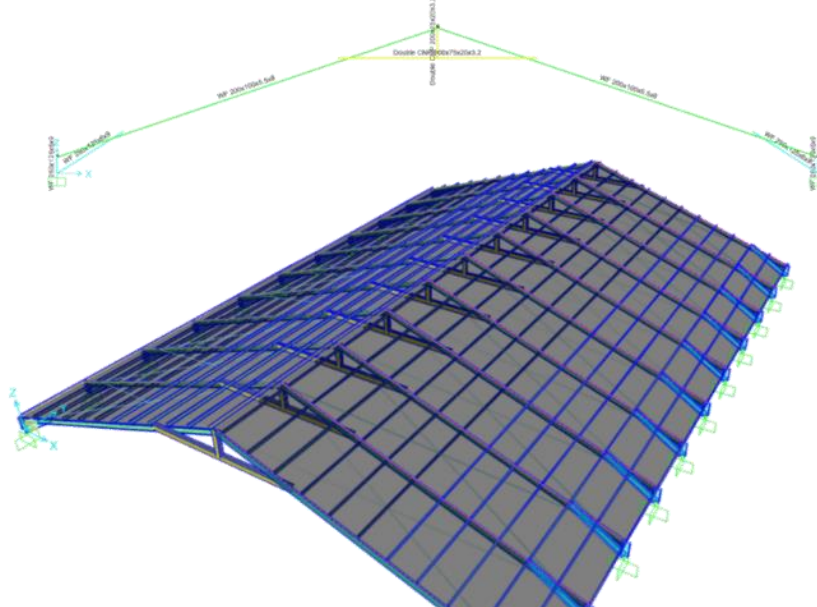
Desain atap menggunakan kombinasi beban untuk desain kekuatan seperti dijabarkan pada Tabel 4.

Tabel 4 kombinasi beban desain kekuatan yang bekerja pada Gedung Gereja Katedral Jayapura

Nomor	Kode	DL	SIDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1	1.1	Ultimit 1.1	1.40	1.40						
	2.1	Ultimit 2.1	1.20	1.20	1.60	0.50				
2	2.2	Ultimit 2.2	1.20	1.20	1.60		0.50			
	3.1	Ultimit 3.1	1.20	1.20	1.00	1.60				
3	3.2	Ultimit 3.2	1.20	1.20		1.60	0.50			
	3.3	Ultimit 3.3	1.20	1.20		1.60		0.50		
	3.4	Ultimit 3.4	1.20	1.20		1.60	0.38	0.38		
	3.5	Ultimit 3.5	1.20	1.20	1.00		1.60			
	3.6	Ultimit 3.6	1.20	1.20			1.60	0.50		
	3.7	Ultimit 3.7	1.20	1.20			1.60		0.50	
	3.8	Ultimit 3.8	1.20	1.20			1.60	0.38	0.38	
4	4.1	Ultimit 4.1	1.20	1.20	1.00	0.50	1.00			
	4.2	Ultimit 4.2	1.20	1.20	1.00	0.50		1.00		
	4.3	Ultimit 4.3	1.20	1.20	1.00	0.50	0.75	0.75		
	4.4	Ultimit 4.4	1.20	1.20	1.00		0.50	1.00		
	4.5	Ultimit 4.5	1.20	1.20	1.00		0.50		1.00	
	4.6	Ultimit 4.6	1.20	1.20	1.00		0.50	0.75	0.75	
5	5.1	Ultimit 5.1	0.90	0.90			1.00			
	5.2	Ultimit 5.2	0.90	0.90				1.00		
	5.3	Ultimit 5.3	0.90	0.90			0.75	0.75		
6	6.1	Ultimit 6.1	1.36	1.36	1.00				1.00	0.30
	6.2	Ultimit 6.2	1.36	1.36	1.00				1.00	-0.30
	6.3	Ultimit 6.3	1.36	1.36	1.00				-1.00	0.30
	6.4	Ultimit 6.4	1.36	1.36	1.00				-1.00	-0.30
	6.5	Ultimit 6.5	1.36	1.36	1.00				0.30	1.00
	6.6	Ultimit 6.6	1.36	1.36	1.00				-0.30	1.00
	6.7	Ultimit 6.7	1.36	1.36	1.00				0.30	-1.00
	6.8	Ultimit 6.8	1.36	1.36	1.00				-0.30	-1.00
7	7.1	Ultimit 7.1	0.74	0.74					1.00	0.30
	7.2	Ultimit 7.2	0.74	0.74					1.00	-0.30
	7.3	Ultimit 7.3	0.74	0.74					-1.00	0.30
	7.4	Ultimit 7.4	0.74	0.74					-1.00	-0.30
	7.5	Ultimit 7.5	0.74	0.74					0.30	1.00
	7.6	Ultimit 7.6	0.74	0.74					-0.30	1.00
	7.7	Ultimit 7.7	0.74	0.74					0.30	-1.00
	7.8	Ultimit 7.8	0.74	0.74					-0.30	-1.00

3.5 Pemodelan dan Evaluasi Kinerja

Pemodelan struktur atap eksisting seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur Eksisting Atap

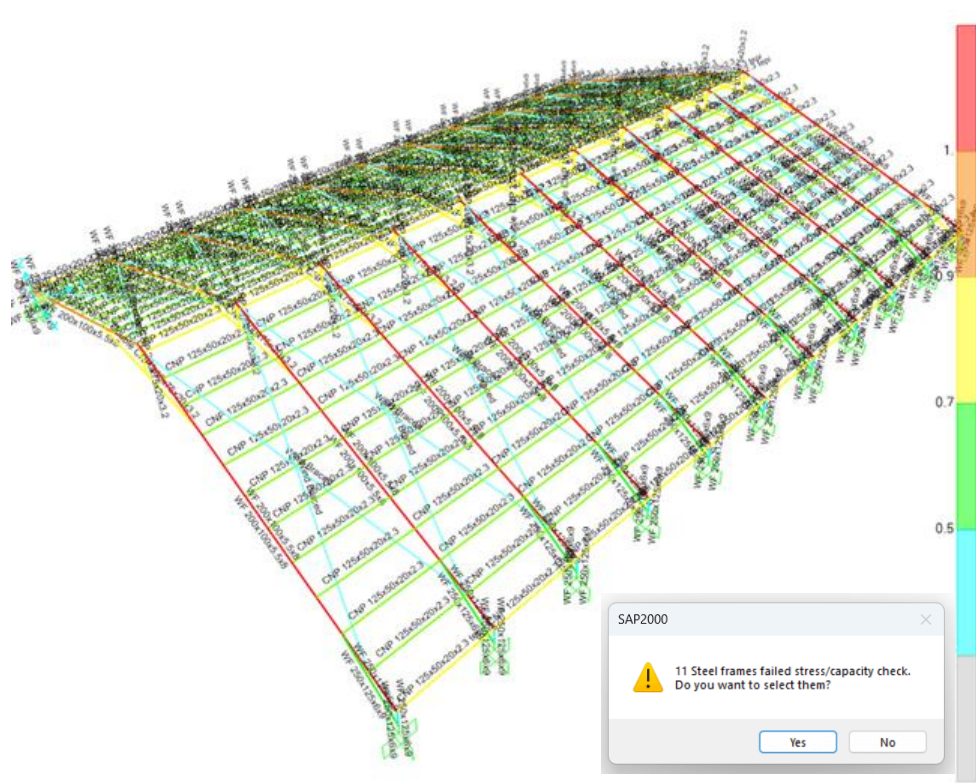
Referensi desain yang digunakan pada analisis struktur baja dengan SAP2000 seperti Gambar 8.

Steel Frame Design Preferences for AISC 360-16

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	SMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.5
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	1.
8 Design System R	8.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	0.9
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension-Yielding)	0.9
18 Phi(Tension-Fracture)	0.75
19 Phi(Shear)	0.9
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1.
21 Phi(Torsion)	0.9
22 Ignore Seismic Code?	No
23 Ignore Special Seismic Load?	No

Gambar 8. Referensi desain Struktur Baja pada SAP2000

Hasil analisis dengan SAP2000 seperti pada Gambar 9.



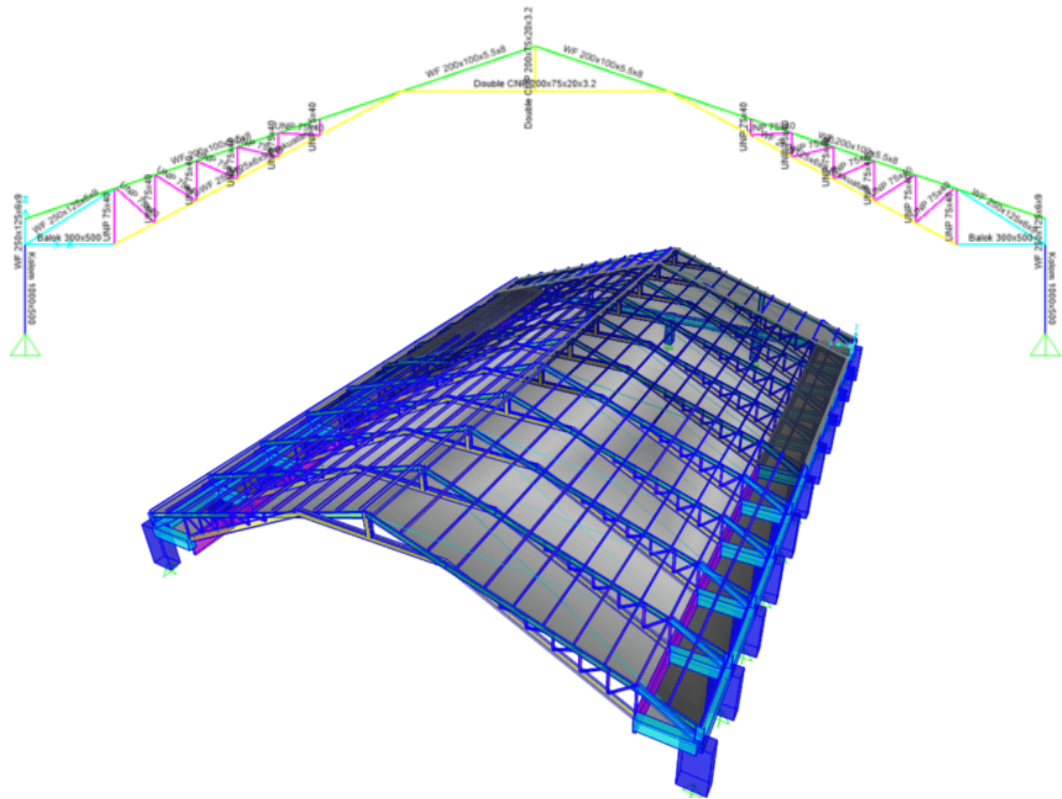
Gambar 9. Hasil Pengecekan Struktur Baja dengan SAP2000

Pada Gambar 9, terdapat 11 (sebelas) batang baja yang mengalami kegagalan. Kegagalan yang terjadi diakibatkan terlampauinya kapasitas pada balok baja, selain itu dari pertimbangan defleksi seperti pada tabel 1, semua balok rafter tidak memenuhi persyaratan defleksi sehingga perlu adanya perbaikan untuk balok rafter rangka atap bangunan.

3.6 Analisis Perbaikan dan Metode Perbaikan

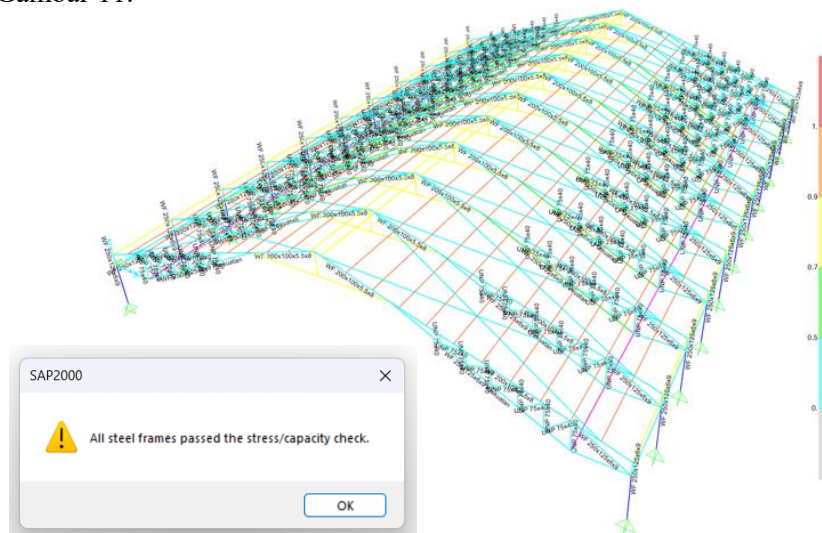
Perbaikan dilakukan dengan menambahkan batang baja dan membentuk sistem *Cremona*, yaitu sebuah sistem rangka batang (*truss*) yang umum digunakan struktur atap. Sistem ini bekerja

dengan membagi gaya-gaya yang bekerja pada struktur menjadi gaya tarik dan tekan yang ditanggung oleh batang-batang penyusunnya. Model perbaikan struktur atap dapat dilihat pada Gambar 10 berikut:



Gambar 10. Model perbaikan struktur atap

Dengan pengskalaan gempa ulang menyesuaikan dengan perubahan yang terjadi serta referensi desain yang sama seperti pada Gambar 9, hasil analisis dengan SAP2000 seperti pada Gambar 11.



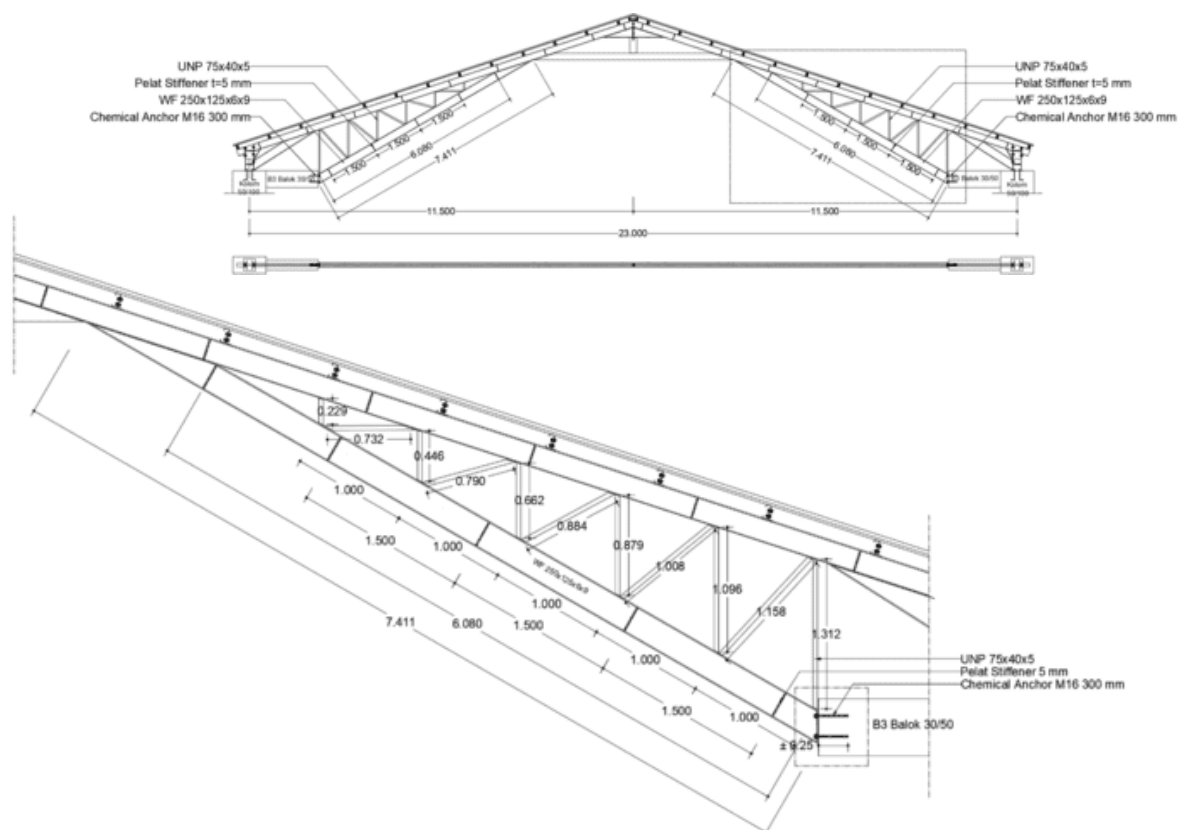
Gambar 11. Hasil Pengecekan Perbaikan Struktur Baja dengan SAP2000

Dari hasil *output* defleksi, diperoleh besaran defleksi maksimal setelah perkuatan adalah seperti pada table 5 berikut.

Tabel 5 . Defleksi hasil analisis perkuatan balok rafter angka atap Gedung Gereja Katedral Jayapura

GRID	Panjang Bentang (mm)	Kombinasi	Defleksi		Defleksi Ijin (mm)	Keterangan	
			Sisi Kanan (mm)	Sisi Kanan (mm)		Sisi Kanan	Sisi Kiri
4	12000	Ultimit 3.1	-1,487456	-1,444537	50	OK	OK
5	12000	Ultimit 3.1	-1,487439	-1,444364	50	OK	OK
6	12000	Ultimit 3.1	-1,487158	-1,441105	50	OK	OK
7	12000	Ultimit 3.1	-1,487147	-1,440437	50	OK	OK
8	12000	Ultimit 3.1	-1,482647	-1,439647	50	OK	OK
9	12000	Ultimit 3.1	-1,482605	-1,439128	50	OK	OK
10	12000	Ultimit 3.1	-1,481477	-1,439011	50	OK	OK
11	12000	Ultimit 3.1	-1,481467	-1,439001	50	OK	OK
12	12000	Ultimit 3.1	-1,467233	-1,437204	50	OK	OK
13	12000	Ultimit 3.1	-1,467071	-1,435424	50	OK	OK
14	12000	Ultimit 3.1	-1,481467	-1,4342	50	OK	OK

Hasil; pengecekan struktur pada Gambar 11 dan *output* defleksi pada table 5 memperlihatkan semua struktur aman baik dari geometri, kekuatan dan kekakuannya. Dari hasil pemodelan perbaikan struktur, maka detail perbaikan dapat dilihat seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 Detail Perbaikan Struktur Atap Gereja

Secara keseluruhan, perbaikan yang dilakukan yaitu dengan menambahkan batang baja dan membentuk sistem *cremona*. penambahan ini meningkatkan kekakuan yang membantu menahan beban tambahan dan mengurangi deformasi yang berlebihan. Dengan membentuk sistem Cremona, gaya-gaya yang bekerja pada struktur disalurkan secara efisien ke seluruh batang, sehingga tidak terjadi konsentrasi beban pada satu titik. Sistem Cremona menciptakan keseimbangan gaya dalam struktur dan menambah kestabilan terhadap gaya luar seperti angin

atau gempa. Metode ini juga dipilih dengan mempertimbangkan kemudahan dalam pelaksanaan. Pada sambungan antara balok B3 dan Profil WF 250.125.6.9 menggunakan endplate dan baut yang ditanam menggunakan Chemical Anchor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis struktur pada struktur atap eksisting ditemukan 11 (sebelas) komponen rangka atap yang mengalami kegagalan struktur dan seluruh komponen rafter mengalami defleksi melebihi defleksi ijin $L/240$. Perbaikan yang dilakukan yaitu dengan menambahkan batang baja dan membentuk sistem *cremona*. Profil baja yang digunakan adalah WF 250.125.6.9 dan UNP 75.40.5. Hasil analisis dinyatakan aman dan sesuai dengan peraturan SNI yang berlaku. Pada metode perbaikan, penyambungan menggunakan *chemical anchor* dan *endplate* pada sambungan Profil WF 250.125.6.9 ke Balok Beton B3 (30x50 cm) dan sambungan las pada sambungan antara profil baja.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam evaluasi dan perbaikan struktur atap, diberikan saran sebagai berikut:

- a. Perlu adanya evaluasi lebih lanjut terkait kapasitas sambungan las, endplate dan angkur pada sambungan-sambungan profil baja yang digunakan dalam perbaikan rangka atap.
- b. Perlu analisis lebih lanjut terhadap metode pelaksanaan, sambungan harus dilakukan secara teliti melihat penyambungan las langsung dilakukan pada struktur atap yang telah terpasang. Panas dari las dapat menurunkan mutu material baja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Cenderawasih yang telah memberi dukungan financial, dan dan seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramumijoyo, S., dkk., 2023, *Geologi gempa bumi Indonesia*, UGM Press, Yogyakarta.
- [2] Nur, A. M. (2010). Gempa bumi, tsunami dan mitigasinya. *Jurnal Geografi*, 10(1), 35–47.
- [3] Hough, S. E., Page, M. T., 2017, *Earthquakes: A Very Short Introduction*, Oxford University Press, Inggris
- [4] DetikNews, (2023, Februari 9), *Gempa Jayapura 9 Februari 2023: Penyebab, jumlah korban, hingga dampaknya*, <https://news.detik.com/berita/d-6560542/gempa-jayapura-9-februari-2023-penyebab-jumlah-korban-hingga-dampaknya>
- [5] Foster, T. H., 2015, *Building Structural Performance Analysis*, Wiley, New York
- [6] Smith, A., Jacobs, R., 2017. *Structural Performance and Assessment: The Role of Structural Engineering*, Academic Press, London

- [7] Susilo, H., 2017, *Teknik Evaluasi Struktur Bangunan*, Andi Offset, Yogyakarta
- [8] Kato, D. J. T., 2020, *Manajemen Kinerja Bangunan*, Penerbit Pustaka, Jakarta
- [9] Chopra, A.K., 2017, *Dynamics of Structures* (5th ed.), Pearson Education, London
- [10] American Institute of Steel Construction, 2016, *AISC 360-16: Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago
- [11] Badan Standardisasi Nasional, 2020, *SNI 1727:2020 – Pembebanan untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- [12] Badan Standardisasi Nasional, 2019, *SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- [13] Badan Standardisasi Nasional, 2020, *SNI 1729:2020 – Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Struktur Baja*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- [14] Pusat Studi Gempa Nasional, 2017, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung
- [15] Standards Australia, 2002, *HB 212-2002: Earthquake Actions in Australia*, Standards Australia International, Sydney