JURNAL REKAYASA SIPIL (JRS-UNAND)
Vol. 22 No. 1, Maret 2026
Diterbitkan oleh:
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas (Unand)
ISSN (Print) : 1858-2133
ISSN (Online) : 2477-3484
http://jrs.ft.unand.ac.id

ANALISIS KINERJA STRUKTUR ATAP LENGKUNG DENGAN *PRATT* DAN *BOWSTRING TRUSS*

RIO SAPUTRA[1*], RELLY ANDAYANI[2]

[1]*Manajemen Rekayasa Infrastruktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma, Jakarta, DKI Jakarta*
[2]*Manajemen Rekayasa Infrastruktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma, Jakarta, DKI Jakarta*

[*]*Corresponding Author:* Riosaputra560@gmail.com

Naskah diterima: 26 Oktober 2025. Disetujui: 13 Februari 2026. Diterbitkan: 31 Maret 2026

ABSTRAK

Struktur atap lengkung banyak digunakan pada bangunan bentang besar karena efisiensi struktural dan nilai arsitekturalnya. Namun, pemilihan konfigurasi rangka batang yang tepat sangat memengaruhi kinerja struktur, khususnya pada kondisi bentang yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur atap lengkungdengan dua konfigurasi rangka batang baja, yaitu *Pratt Truss* dan *Bowstring Truss*, pada bentang sedang (20 m) dan bentang panjang (40 m). Sebanyak empat model struktur dianalisis menggunakan pemodelan tiga dimensi pada perangkat lunak ETABS, dengan material baja struktural dan pembebanan yang mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Evaluasi kinerja struktur dilakukan berdasarkan empat indikator kuantitatif, yaitu berat struktur, lendutan maksimum (batas layan), rasio kapasitas penampang, dan time period hasil analisis modal. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada bentang sedang, konfigurasi *Pratt Truss* menghasilkan kinerja yang lebih optimal dengan rasio kapasitas yang lebih rendah dan time period yang lebih pendek, menandakan kekakuan struktur yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada bentang panjang, *Bowstring Truss* menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan lendutan maksimum yang lebih kecil dan distribusi gaya yang lebih efisien pada batang bawah. Temuan ini mengindikasikan bahwa konfigurasi rangka yang optimal sangat bergantung pada panjang bentang, sehingga pemilihan sistem truss harus mempertimbangkan respons struktural yang dominan terhadap beban layan dan beban lateral.

Kata kunci : Atap Lengkung, Kinerja Struktur, Rangka Batang Baja, *Pratt Truss*, *Bowstring Truss*

1. PENDAHULUAN

Bangunan dengan bentang besar merupakan elemen penting dalam pengembangan infrastruktur publik, khususnya pada fasilitas olahraga dan kesenian seperti stadion, gedung olahraga, dan gedung pertunjukan. Bangunan-bangunan tersebut menuntut ruang bebas kolom yang luas guna mendukung fungsi utama bangunan serta kenyamanan pengguna. Kondisi ini menyebabkan struktur atap menjadi komponen dominan yang sangat berpengaruh terhadap keamanan, kinerja, dan keberlanjutan bangunan secara keseluruhan.

Oleh karena itu, perencanaan struktur atap pada bangunan bentang besar memerlukan pendekatan desain yang cermat dan berbasis kinerja struktural.

Pemanfaatan material baja pada struktur atap bentang besar semakin berkembang seiring dengan tuntutan efisiensi struktur, kemudahan konstruksi, dan fleksibilitas bentuk. Baja memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi serta perilaku mekanik yang relatif baik terhadap beban statik maupun dinamik. Berdasarkan SNI 1727:2020, sistem atap bangunan diklasifikasikan ke dalam beberapa tipe, antara lain atap pelana, atap miring sepihak, atap mansard, atap kubah, dan atap lengkung. Di antara berbagai tipe tersebut, struktur atap lengkung banyak diaplikasikan pada bangunan bentang besar karena mampu mengurangi momen lentur, mendistribusikan beban secara lebih merata, serta memberikan nilai arsitektural yang lebih ekspresif (Khala et al., 2022).

Struktur atap lengkung umumnya disusun menggunakan sistem rangka batang baja planar. Sistem ini bekerja dengan prinsip pemindahan beban melalui gaya aksial pada elemen batang, sehingga efisien untuk bentang yang relatif panjang. Konfigurasi rangka batang planar yang umum digunakan pada struktur atap meliputi Pratt, Howe, Fink, dan Bowstring. Perbedaan konfigurasi geometri pada setiap sistem rangka batang menyebabkan variasi dalam distribusi gaya dalam, tingkat kekakuan, lendutan, serta respons dinamis struktur terhadap beban lateral (Risma Aprilia, 2025a; Wang & Yu, 2024).

Dua konfigurasi rangka batang yang paling sering diaplikasikan pada struktur atap lengkung adalah Pratt Truss dan Bowstring Truss. Konfigurasi Pratt memiliki susunan batang diagonal dan vertikal yang relatif sederhana, sehingga banyak digunakan karena kemudahan fabrikasi, perakitan, dan penerapannya pada berbagai bentuk struktur atap (Liu et al., 2025; Lubkov, 2025; Neyshabouri & Niasati, 2025). Sebaliknya, Bowstring Truss dicirikan oleh batang atas berbentuk lengkung menyerupai busur dan batang bawah horizontal, yang memungkinkan beban gravitasi dialirkan secara lebih merata melalui mekanisme gaya tarik pada batang bawah. Konfigurasi ini dinilai memiliki potensi kinerja yang lebih baik pada bentang panjang karena mampu mengurangi lendutan dan redistribusi gaya yang lebih efisien (Aulia et al., 2025; Berlanga et al., 2025; Sudarsana et al., 2025).

Sejumlah penelitian terdahulu telah membahas perbandingan sistem rangka batang pada struktur atap. Studi yang dilakukan oleh Nugroho & Andayani (2024) menunjukkan bahwa konfigurasi Pratt cenderung lebih ringan dan efisien dibandingkan beberapa sistem rangka batang planar lainnya. Sementara itu, penelitian oleh La Ola et al. (2025) menunjukkan bahwa konfigurasi Pratt dan Bowstring memiliki pola distribusi beban yang relatif serupa, namun berbeda dalam kebutuhan dimensi penampang dan berat struktur. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada aspek perbandingan umum atau efisiensi material, tanpa mengkaji kinerja struktur secara komprehensif dan kuantitatif berdasarkan indikator batas layan, kapasitas penampang, serta respons dinamis struktur.

Selain itu, kajian yang secara spesifik membandingkan kinerja struktur atap lengkung dengan konfigurasi Pratt Truss dan Bowstring Truss pada variasi panjang bentang masih relatif terbatas, khususnya dengan menggunakan parameter pembebanan, mutu material, dan standar desain yang seragam (Kripka, 2025). Perbedaan panjang bentang berpotensi memengaruhi mekanisme kerja struktur, tingkat kekakuan, serta dominasi gaya tarik dan tekan pada elemen rangka. Dengan demikian, hasil perbandingan pada satu kondisi bentang belum tentu dapat digeneralisasi pada kondisi bentang lainnya.

Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian (*research gap*) dalam evaluasi kinerja struktur atap lengkung berbasis rangka batang baja.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja struktur atap lengkung dengan konfigurasi Pratt Truss dan Bowstring Truss pada dua kondisi bentang, yaitu bentang sedang dan bentang panjang. Evaluasi kinerja struktur dilakukan secara kuantitatif berdasarkan indikator berat struktur, lendutan maksimum (batas layan), rasio kapasitas penampang, dan time period hasil analisis modal. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih objektif mengenai pengaruh konfigurasi rangka batang terhadap kinerja struktur atap lengkung, serta menjadi dasar pertimbangan teknis dalam pemilihan sistem rangka yang sesuai untuk bangunan bentang besar.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Data Geometri dan Sistem Struktur

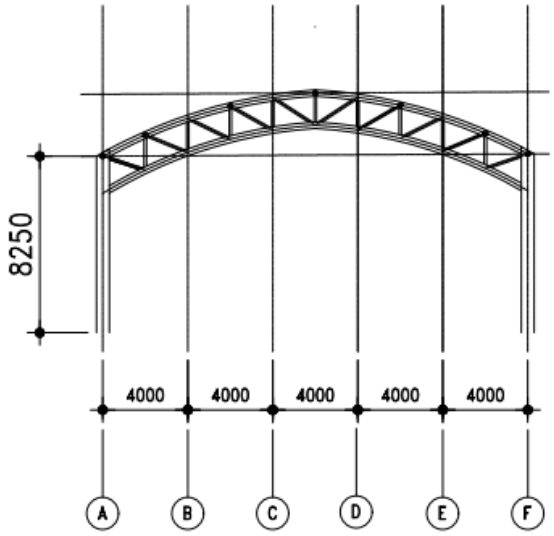
Sistem struktur atap lengkung yang dianalisis dimodelkan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dengan fungsi bangunan sebagai fasilitas olahraga (Anggraini, 2015; Prasetyo & Nabil, 2025). Penetapan sistem struktur dan fungsi bangunan ini bertujuan untuk menyeragamkan karakteristik struktur, sehingga perbedaan kinerja yang diperoleh dari hasil analisis dapat dikaitkan secara langsung dengan perbedaan konfigurasi rangka batang dan panjang bentang.

Data geometri struktur atap lengkung untuk kondisi bentang sedang disajikan secara rinci pada Tabel 1. Tabel ini memuat parameter geometrik utama yang digunakan dalam pemodelan, meliputi panjang atap, lebar bentang, serta tinggi total atap. Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai dasar pemodelan numerik dan dijaga konsisten untuk kedua konfigurasi rangka batang agar hasil perbandingan bersifat objektif. Sistem struktur berupa sistem rangka pemikul momen biasa dengan fungsi bangunan berupa fasilitas olahraga.

Tabel 1. Geometri struktur atap dengan Pratt Truss dan Bowstring Truss Bentang Sedang

Parameter	Dimensi (m)
Panjang atap	49,200 m
Lebar atap	20,000 m
Total Ketinggian Atap	11,204 m

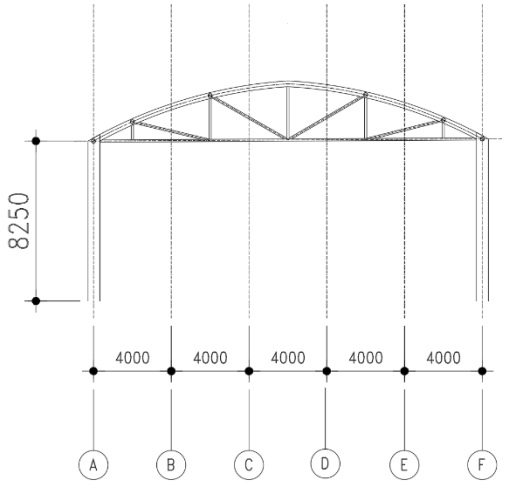
Untuk memberikan gambaran visual mengenai perbedaan konfigurasi rangka batang pada bentang sedang, model portal struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss dan Bowstring Truss ditampilkan masing-masing pada Gambar 1 dan Gambar 2. Kedua gambar ini menunjukkan perbedaan geometri rangka, susunan batang, serta kelengkungan struktur atap yang dianalisis, yang selanjutnya berpengaruh terhadap distribusi gaya dan respons struktur.



Gambar 1. Portal Atap Pratt Truss Bentang Sedang

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi portal struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss pada kondisi bentang sedang, yang dicirikan oleh susunan batang diagonal dan vertikal yang relatif sederhana serta distribusi gaya aksial yang dominan pada elemen rangka. Konfigurasi ini digunakan sebagai representasi sistem rangka batang konvensional yang banyak diaplikasikan pada struktur atap bentang menengah.

Sebagai pembanding terhadap konfigurasi tersebut, Gambar 2 menyajikan portal struktur atap lengkung dengan sistem Bowstring Truss pada bentang yang sama. Perbedaan utama pada konfigurasi ini terletak pada bentuk batang atas yang melengkung menyerupai busur dan batang bawah yang relatif horizontal, yang secara teoritis memungkinkan pendistribusian beban gravitasi yang lebih merata serta perubahan mekanisme kerja gaya dalam pada elemen rangka. Penyajian kedua konfigurasi ini pada kondisi bentang yang identik dimaksudkan untuk menegaskan bahwa perbedaan respons struktur yang diperoleh dari hasil analisis selanjutnya semata-mata dipengaruhi oleh perbedaan geometri dan sistem rangka, bukan oleh variasi dimensi atau kondisi batas struktur.



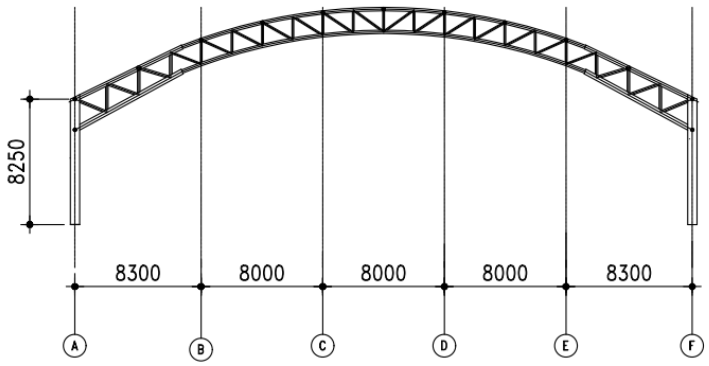
Gambar 2. Portal Atap Bowstring Truss Bentang Sedang

Selanjutnya, data geometri struktur atap lengkung untuk kondisi bentang panjang disajikan pada Tabel 2. Tabel ini memuat parameter geometrik yang disesuaikan dengan peningkatan panjang bentang, khususnya pada lebar atap dan tinggi total struktur. Perubahan parameter geometrik ini dimaksudkan untuk merepresentasikan pengaruh peningkatan bentang terhadap perilaku struktur secara global.

Tabel 2. Geometri struktur atap dengan Pratt Truss dan Bowstring Truss Bentang Panjang

Parameter	Dimensi (m)
Panjang atap	49,20 m
Lebar atap	40,60 m
Total Ketinggian Atap	14,28 m

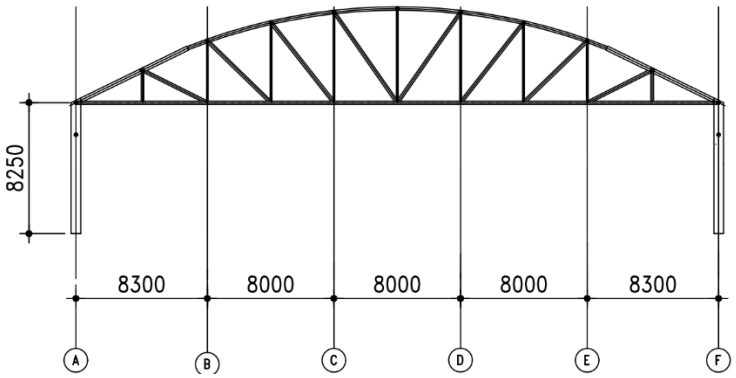
Visualisasi portal struktur atap lengkung pada bentang panjang untuk masing-masing konfigurasi rangka batang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Kedua gambar ini digunakan untuk memperjelas perbedaan skala, bentuk lengkungan, serta konfigurasi batang antara struktur bentang sedang dan bentang panjang. Dengan demikian, pembaca dapat memahami perubahan geometri yang menjadi dasar dalam analisis kinerja struktur.



Gambar 3. Portal Atap Pratt Truss Bentang Panjang

Gambar 3 memperlihatkan konfigurasi portal struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss pada kondisi bentang panjang. Peningkatan panjang bentang pada konfigurasi ini menyebabkan perubahan skala struktur serta peningkatan panjang elemen batang, yang secara teoritis dapat memengaruhi tingkat kekakuan global, besar lendutan, serta distribusi gaya aksial pada elemen rangka. Model ini digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem Pratt Truss mampu mempertahankan kinerja strukturalnya ketika diaplikasikan pada bentang yang lebih besar.

Sebagai pembanding, Gambar 4 menampilkan portal struktur atap lengkung dengan sistem Bowstring Truss pada bentang panjang yang sama. Bentuk lengkung pada batang atas pada konfigurasi ini diharapkan dapat memberikan mekanisme kerja struktur yang berbeda dibandingkan dengan sistem Pratt, khususnya dalam hal redistribusi beban gravitasi dan pengurangan lendutan akibat peningkatan bentang. Penyajian kedua konfigurasi pada bentang panjang ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh perbedaan geometri rangka terhadap kinerja struktur, sehingga perbandingan yang dilakukan selanjutnya dapat secara langsung dikaitkan dengan efektivitas masing-masing sistem rangka pada kondisi bentang panjang.



Gambar 4. Portal Atap Bowstring Truss Bentang Panjang

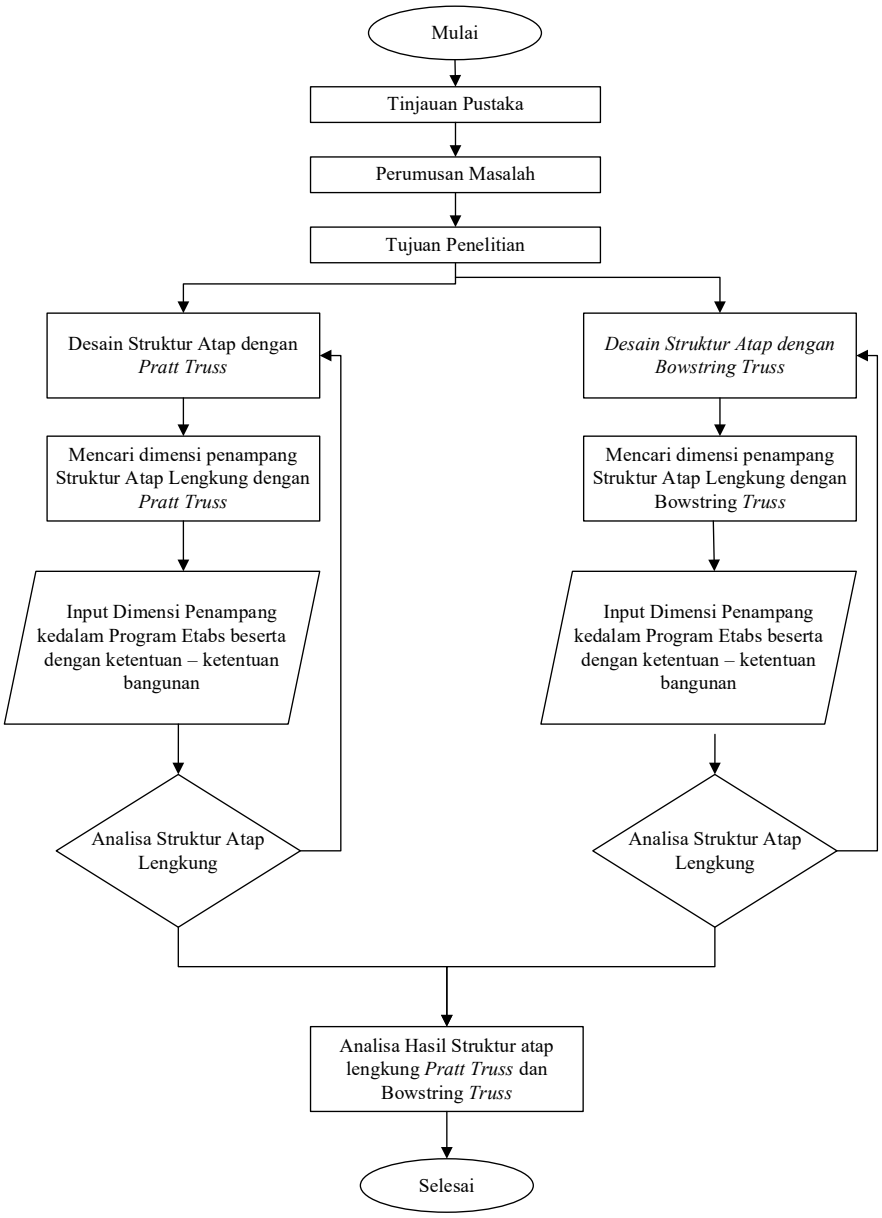
Perbedaan konfigurasi dan geometri struktur yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 menjadi dasar utama dalam evaluasi kinerja struktur pada bentang panjang. Peningkatan panjang bentang dan perubahan bentuk lengkung rangka pada kedua sistem tersebut diperkirakan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besar lendutan maksimum, tingkat pemanfaatan kapasitas penampang, serta respons dinamis struktur yang direpresentasikan melalui nilai *time period*. Oleh karena itu, hasil analisis lendutan, rasio kapasitas, dan *time period* yang disajikan pada bagian selanjutnya secara langsung dikaitkan dengan karakteristik geometri dan konfigurasi rangka yang ditampilkan pada kedua gambar tersebut, sehingga hubungan antara bentuk struktur dan respons struktural dapat dievaluasi secara kuantitatif.

2.2. Diagram Alir Penelitian

Untuk memperjelas tahapan metodologi penelitian yang dilakukan, keseluruhan proses analisis dirangkum dalam bentuk diagram alur yang disajikan pada Gambar 5. Diagram ini menggambarkan urutan kegiatan penelitian mulai dari penentuan data awal, pemodelan struktur, pembebanan, analisis, evaluasi kinerja, hingga proses iterasi penampang.

Bagian *conditional* pada diagram alur penelitian menunjukkan tahap pengambilan keputusan berdasarkan hasil analisis struktur. Apabila hasil evaluasi kinerja belum memenuhi kriteria desain yang ditetapkan, maka dilakukan penyesuaian dimensi penampang dan analisis ulang hingga diperoleh desain yang memenuhi persyaratan kekuatan, batas layan, dan respons dinamis struktur.

Berdasarkan tahapan pemodelan, pembebanan, serta prosedur evaluasi kinerja yang telah dijelaskan, analisis selanjutnya difokuskan pada penyajian dan pembahasan hasil numerik yang diperoleh dari masing-masing model struktur. Parameter yang dianalisis meliputi lendutan maksimum sebagai indikator batas layan, rasio kapasitas penampang sebagai indikator kekuatan elemen, serta *time period* sebagai representasi kekakuan dan respons dinamis struktur. Seluruh hasil disajikan dalam bentuk tabel dan grafik kuantitatif untuk memungkinkan perbandingan yang objektif antara konfigurasi Pratt Truss dan Bowstring Truss pada bentang sedang dan bentang panjang.



Gambar 5. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter Seismik Struktur Atap Lengkung

Parameter seismik yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan dengan asumsi lokasi bangunan berada di wilayah DKI Jakarta. Penentuan parameter kegempaan mengacu pada peta gempa Indonesia sesuai SNI 1726:2019, dengan klasifikasi kondisi tanah yang ditinjau adalah tanah lunak. Parameter percepatan gempa dan spektrum respons diperoleh melalui aplikasi resmi Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (Puskim), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, yang digunakan secara luas sebagai rujukan dalam perencanaan struktur bangunan di Indonesia.

Nilai parameter seismik bangunan yang digunakan dalam analisis struktur atap lengkung disajikan secara lengkap pada Tabel 3. Parameter-parameter tersebut mencakup nilai

percepatan gempa dasar, percepatan spektral periode pendek dan satu detik, serta parameter spektrum desain yang selanjutnya digunakan dalam analisis beban gempa dan analisis modal struktur.

Tabel 3. Parameter Seismik Bangunan

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,381
S_S (g)	0,807
S_1 (g)	0,394
C_{RS}	0,000
C_{R1}	0,000
F_A	1,254
F_V	2,422
S_{MS} (g)	1,012
S_{M1} (g)	0,955
S_{DS} (g)	0,675
S_{D1} (g)	0,637
T_0 (detik)	0,189
T_S (detik)	0,944

Struktur atap lengkung dengan konfigurasi Pratt Truss dan Bowstring Truss, baik pada bentang sedang (20 m) maupun bentang panjang (40 m), dianalisis menggunakan parameter seismik yang sama. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa perbedaan respons struktur yang diperoleh dari hasil analisis semata-mata disebabkan oleh perbedaan konfigurasi rangka batang dan panjang bentang, bukan oleh variasi kondisi kegempaan. Koefisien kegempaan yang digunakan dalam perencanaan struktur atap lengkung ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 dan disajikan pada Tabel 4. Penetapan fungsi bangunan sebagai fasilitas olahraga dengan kategori risiko II menghasilkan kategori desain seismik D, yang selanjutnya mempengaruhi nilai faktor modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, dan faktor pembesaran defleksi yang digunakan dalam analisis struktur.

Tabel 4. Koefisien Kegempaan Struktur Atap Lengkung *Pratt Truss* dan *Bowstring Truss* Bentang Sedang dan Bentang Panjang

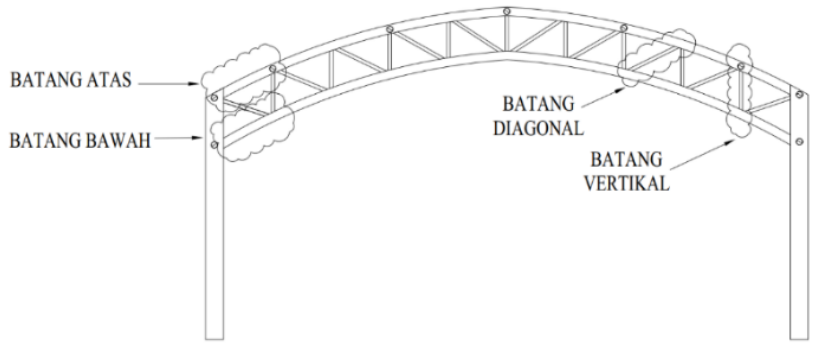
Parameter		Nilai
Kategori resiko gedung		II
Faktor Keutamaan	(I_e)	1
Koefisien modifikasi respons	(R)	3,5
Faktor kuat lebih sistem	(Ω)	3
Faktor pembesaran defleksi	(C_d)	3
Kategori desain seismik	(KDS)	D
Faktor redudansi	ρ	1

3.2. Penampang Struktur dan Berat Struktur

Penentuan dimensi penampang struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss dan Bowstring Truss dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS melalui proses desain iteratif. Proses ini diawali dengan penentuan dimensi penampang awal berdasarkan perkiraan desain, kemudian dilakukan analisis struktur untuk mengevaluasi kinerja elemen terhadap kriteria desain yang meliputi kekuatan, batas layan, dan respons dinamis. Apabila hasil analisis menunjukkan bahwa kriteria desain belum terpenuhi, maka dimensi penampang disesuaikan dan analisis diulang hingga diperoleh konfigurasi penampang yang memenuhi persyaratan desain secara optimal.

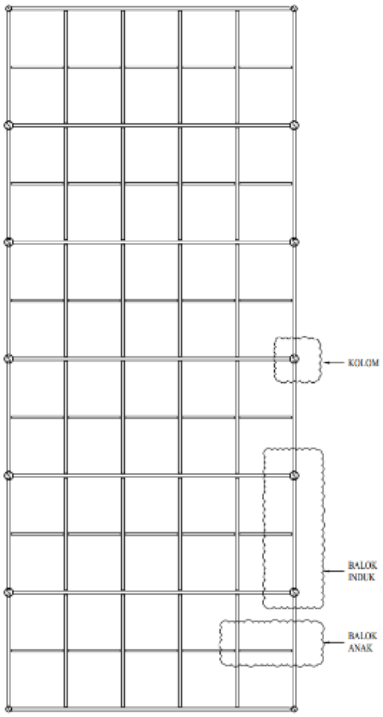
Berat struktur merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi efisiensi penggunaan dimensi penampang. Pemilihan dimensi penampang yang efisien dan optimal sangat berkaitan dengan upaya meminimalkan berat struktur tanpa mengurangi kinerja struktural. Pada bangunan dengan bentang sedang dan bentang panjang, penggunaan sistem struktur rangka batang memungkinkan pengurangan berat struktur secara signifikan dibandingkan dengan sistem struktur konvensional.

Untuk memberikan gambaran umum mengenai konfigurasi struktur yang dianalisis, Gambar 6 menampilkan portal struktur atap lengkung, sedangkan Gambar 7 menunjukkan denah struktur atap lengkung yang digunakan dalam penelitian. Kedua gambar ini digunakan sebagai acuan visual untuk memahami posisi elemen struktur dan sistem rangka batang yang dianalisis pada tahap selanjutnya.



Gambar 6. Portal Struktur Atap Lengkung

Gambar 6 menampilkan konfigurasi portal struktur atap lengkung yang dianalisis, yang digunakan untuk merepresentasikan sistem rangka batang secara vertikal beserta hubungan antar elemen utama struktur. Untuk melengkapi pemahaman terhadap konfigurasi struktur secara keseluruhan, Gambar 7 menyajikan denah struktur atap lengkung yang menggambarkan tata letak portal, jarak antar rangka, serta sistem pembagian beban secara horizontal. Penyajian kedua gambar ini secara berurutan dimaksudkan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai geometri struktur, baik dari arah vertikal maupun horizontal, yang menjadi dasar dalam proses pemodelan dan analisis kinerja struktur.



Gambar 7. Denah Struktur Atap Lengkung

Dimensi penampang struktur atap lengkung untuk kondisi bentang sedang (20 m) ditampilkan pada Tabel 5, yang memuat ukuran diameter dan tebal pipa untuk masing-masing elemen struktur utama. Dimensi tersebut merupakan hasil akhir dari proses iterasi yang telah memenuhi kriteria desain yang ditetapkan. Gambar 7 menunjukkan denah struktur atap lengkung yang digunakan sebagai objek penelitian. Denah ini dibuat identik untuk seluruh variasi model, baik Pratt Truss maupun Bowstring Truss, pada bentang sedang dan bentang panjang. Dengan menggunakan konfigurasi denah yang sama, perbedaan respons struktur yang dihasilkan sepenuhnya merepresentasikan pengaruh sistem rangka dan panjang bentang, tanpa dipengaruhi oleh variasi tata letak struktur.

Tabel 5. Dimensi Penampang Struktur Atap Lengkung *Pratt Truss* dan *Bowstring Truss* Bentang Sedang (20 m)

	Kolom	Balok	Batang Vertikal	Batang Diagonal	Batang Atas	Batang Bawah	Batang Balok Anak
Diameter Pipa (mm)	610	406,4	114,3	114,3	318,5	318,5	216,3
Tebal Pipa (mm)	17,5	12,7	6	6	10,3	10,3	8,2

Selanjutnya, dimensi penampang struktur atap lengkung untuk kondisi bentang panjang (40 m) disajikan pada Tabel 6. Perbedaan dimensi penampang antara bentang sedang dan bentang panjang mencerminkan pengaruh peningkatan bentang terhadap kebutuhan kapasitas dan kekakuan struktur.

Tabel 6. Dimensi Penampang Struktur Atap Lengkung Pratt Truss dan Bowstring Truss Bentang Panjang (40 m)

	Kolom	Balok	Batang Vertikal	Batang Diagonal	Batang Atas	Batang Bawah	Batang Balok Anak
Diameter Pipa (mm)	610	267,4	114,3	114,3	406,4	406,4	216,3
Tebal Pipa (mm)	17,5	10,3	6	6	12,7	12,7	8,2

Rekapitulasi berat struktur atap lengkung untuk masing-masing sistem rangka batang dan kondisi bentang ditampilkan pada Tabel 7. Data pada tabel ini digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi efisiensi struktur, khususnya dalam membandingkan kinerja Pratt Truss dan Bowstring Truss dari segi penggunaan material dan berat total struktur.

Tabel 7. Rekapitulasi Berat Struktur Atap Lengkung

Berat Struktur (kg)	Bentang Sedang (20 m)		Bentang Panjang (40 m)	
	Pratt Truss	*Bowstring Truss*	*Pratt Truss*	*Bowstring Truss*
	98940	96928	162932	159670

Rekapitulasi berat struktur yang disajikan pada Tabel 7 memberikan gambaran kuantitatif mengenai perbedaan efisiensi penggunaan material antara sistem Pratt Truss dan Bowstring Truss pada masing-masing kondisi bentang. Data berat struktur ini selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja struktur dari aspek efisiensi dan dikaitkan dengan hasil pemeriksaan batas layan, rasio kapasitas penampang, serta respons dinamis struktur yang dibahas pada subbab berikutnya.

3.3. Pemeriksaan Kinerja Batas Layan

Pemeriksaan kinerja batas layan pada struktur atap lengkung dilakukan dengan mengevaluasi lendutan maksimum yang terjadi akibat kombinasi beban layan. Lendutan yang terjadi dibandingkan dengan lendutan izin sesuai Design Guide 3: Serviceability Design for Steel Buildings, yang mengadopsi ketentuan dari ASCE 7-16 (Charney et al., 2020; Fanella, 2024; Shankar Nair et al., 2011). Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa lendutan yang terjadi akibat beban gravitasi dan beban angin tidak melampaui batas yang diizinkan serta tidak menimbulkan gangguan terhadap fungsi dan kenyamanan pengguna bangunan. Hasil rekapitulasi lendutan maksimum pada struktur atap lengkung dengan sistem *Pratt Truss* dan *Bowstring Truss* untuk bentang sedang dan bentang panjang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Lendutan Struktur Atap Lengkung

Beban	Lendutan (mm)			
	Bentang Sedang		Bentang Panjang	
	Pratt	*Bowstring*	*Pratt*	*Bowstring*
Beban Hidup Atap (Lr)	4,24	2,12	19,84	6,45
Beban Layan (Beban Mati + Beban Hidup Atap)	13,67	6,93	67,72	22,21
Beban Angin Arah X	3,86	3,87	20,35	21,20
Beban Angin Arah Y	13,69	37,07	26,32	19,16

Berdasarkan data pada Tabel 8, pada kondisi bentang sedang (20 m) terlihat bahwa sistem Bowstring Trussmenghasilkan lendutan yang lebih kecil dibandingkan Pratt Truss akibat beban gravitasi. Pada beban hidup atap, lendutan Bowstring Truss sekitar 50%

lebih kecil, sedangkan pada beban layan (beban mati + beban hidup atap) lendutan Bowstring Truss sekitar 49% lebih kecil dibandingkan Pratt Truss. Hal ini menunjukkan bahwa Bowstring Truss memiliki kekakuan yang lebih baik dalam menahan beban gravitasi pada bentang sedang. Namun, akibat beban angin arah Y, Bowstring Truss mengalami lendutan yang lebih besar dibandingkan Pratt Truss, yang mengindikasikan adanya perbedaan respons lateral akibat konfigurasi geometri struktur.

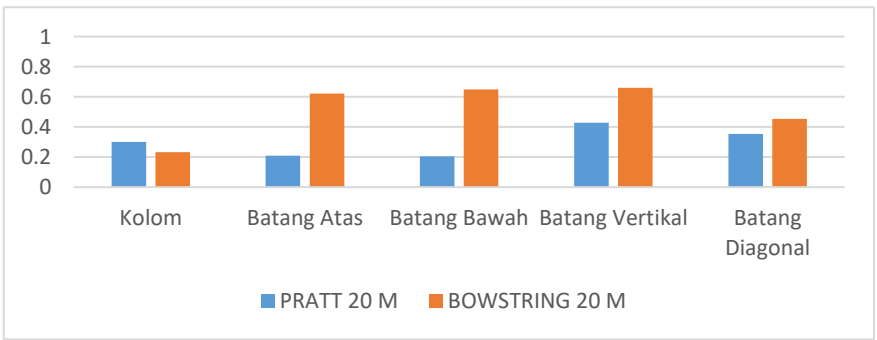
Pada kondisi bentang panjang (40 m), perbedaan lendutan akibat beban gravitasi antara kedua sistem rangka menjadi semakin signifikan. Lendutan Bowstring Truss akibat beban hidup atap dan beban layan masing-masing sekitar 67% lebih kecil dibandingkan Pratt Truss. Selain itu, akibat beban angin arah Y, Bowstring Truss menunjukkan lendutan yang lebih kecil dibandingkan Pratt Truss, yang mengindikasikan kinerja yang lebih baik dalam mengendalikan deformasi lateral pada bentang panjang.

Secara umum, peningkatan panjang bentang menyebabkan peningkatan lendutan maksimum pada kedua jenis sistem rangka batang. Hal ini menunjukkan bahwa panjang bentang merupakan faktor dominan yang mempengaruhi kinerja batas layan struktur atap lengkung, dan pada bentang panjang, konfigurasi Bowstring Truss menunjukkan performa yang lebih efektif dalam mengendalikan lendutan.

3.4. Rasio Kapasitas Penampang

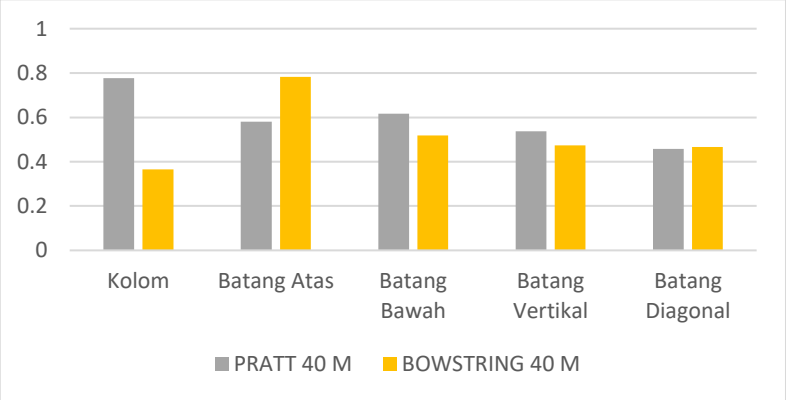
Evaluasi rasio kapasitas penampang dalam penelitian ini didasarkan pada kombinasi beban terfaktor sesuai SNI 1727:2020, yang mencakup beban mati, beban hidup atap, beban angin, dan beban gempa. Rasio kapasitas dihitung menggunakan hasil gaya dalam maksimum dari kombinasi beban kritis yang dihasilkan oleh analisis ETABS.

Rasio kapasitas penampang merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat pemanfaatan kapasitas elemen struktur dalam menahan gaya yang bekerja (Masulili et al., 2024; Risma Aprilia, 2025b). Rasio ini menunjukkan perbandingan antara gaya dalam yang terjadi dengan kapasitas nominal penampang (Riza Aryanti, 2024). Nilai rasio kapasitas yang mendekati satu namun masih berada di bawah batas yang diizinkan menunjukkan pemanfaatan material yang lebih efisien, sedangkan nilai rasio yang terlalu kecil mengindikasikan penggunaan material yang belum optimal (Troshin & Korobko, 2025; Zhou et al., 2024). Untuk elemen kolom, rasio kapasitas dihitung berdasarkan interaksi aksial–momen (P–M *interaction*), sedangkan untuk elemen batang rangka digunakan kapasitas aksial dominan sesuai karakteristik gaya internal yang bekerja (Como et al., 2003; Munawir et al., 2018). Hasil rekapitulasi rasio kapasitas penampang untuk struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss dan Bowstring Truss pada bentang sedang ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rekapitulasi Rasio Kapasitas Penampang Bentang Sedang

Berdasarkan Gambar 8, pada kondisi bentang sedang terlihat bahwa beberapa elemen pada struktur Bowstring Truss memiliki rasio kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan Pratt Truss, khususnya pada elemen rangka tertentu. Namun, pada elemen kolom, Pratt Truss menunjukkan rasio kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan Bowstring Truss. Hal ini mengindikasikan bahwa pada bentang sedang, struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss masih memiliki potensi untuk dioptimalkan lebih lanjut melalui pengurangan dimensi penampang tanpa melanggar kriteria kekuatan. Selanjutnya, hasil rekapitulasi rasio kapasitas penampang untuk kondisi bentang panjang (40 m) ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rekapitulasi Rasio Kapasitas Penampang Bentang Panjang

Pada bentang panjang, perbedaan rasio kapasitas penampang antara kedua sistem rangka batang menjadi lebih jelas. Elemen batang atas pada struktur Pratt Truss menunjukkan rasio kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan Bowstring Truss, yang mengindikasikan bahwa elemen tersebut bekerja lebih mendekati kapasitas maksimumnya. Sebaliknya, pada elemen batang bawah, Bowstring Truss menunjukkan rasio kapasitas yang lebih tinggi, yang mencerminkan mekanisme kerja struktur busur dimana batang bawah dominan menahan gaya tarik.

Perbedaan geometri rangka menyebabkan distribusi gaya yang berbeda pada masing-masing elemen struktur. Pada Bowstring Truss, bentuk lengkung pada batang atas menghasilkan distribusi gaya yang lebih merata, sehingga elemen batang bawah bekerja lebih efektif terutama pada bentang panjang. Secara keseluruhan, Bowstring Truss menunjukkan pemanfaatan kapasitas penampang yang lebih optimal pada bentang panjang, sedangkan pada bentang sedang, sistem Pratt Truss masih menunjukkan efisiensi yang lebih baik dari segi pemanfaatan dimensi penampang.

Perbandingan rasio kapasitas antara Pratt Truss dan Bowstring Truss tidak dilakukan dengan menggunakan luas penampang yang sama, melainkan berdasarkan dimensi penampang hasil proses iterasi desain yang memenuhi kriteria kekuatan dan batas layan. Dengan demikian, perbandingan yang dilakukan merepresentasikan efisiensi masing-masing sistem struktur dalam mencapai performa desain yang setara.

3.5. Time Period Struktur

Time period (waktu getar alami) merupakan salah satu parameter utama yang menggambarkan kekakuan dan respons dinamis suatu struktur (Tauladan et al., 2025; Wahyu & Arini, 2024). Struktur dengan nilai time period yang lebih kecil umumnya memiliki kekakuan yang lebih tinggi, sedangkan struktur dengan time period yang lebih besar cenderung bersifat lebih fleksibel. Dalam penelitian ini, analisis *time period* dilakukan

menggunakan perangkat lunak ETABS melalui analisis modal, yang bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dinamis struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss dan Bowstring Truss pada bentang sedang dan bentang Panjang (Dzikra et al., 2025; M Gote, 2025; Pandit et al., 2025). Hasil analisis time period struktur atap lengkung untuk kondisi bentang sedang (20 m) disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. *Time Period* Struktur Atap *Pratt Truss* dan *Bowstring Truss* Bentang Sedang

	Case	Mode	Period sec	UX	UY
Pratt	Modal	1	0,844	0,5548	0
Truss	Modal	2	0,470	0	0,8834
Bowstring	Modal	1	0,936	0	0,9606
Truss	Modal	2	0,882	0,6313	0

Berdasarkan data pada Tabel 9, untuk arah getar dominan X, struktur atap lengkung dengan sistem Pratt Truss dan Bowstring Truss menunjukkan nilai time period yang relatif berdekatan. Hal ini mengindikasikan bahwa pada bentang sedang, kedua sistem rangka memiliki tingkat kekakuan lateral yang sebanding pada arah tersebut. Namun, Bowstring Truss menunjukkan nilai time period yang sedikit lebih besar dibandingkan Pratt Truss, yang mencerminkan respons struktur yang sedikit lebih fleksibel akibat konfigurasi geometri lengkungnya.

Pada mode getar dominan arah Y, Bowstring Truss menunjukkan kontribusi massa yang lebih besar dibandingkan Pratt Truss, yang mengindikasikan bahwa arah ini lebih sensitif terhadap perubahan geometri struktur. Perbedaan distribusi massa dan kekakuan pada masing-masing sistem rangka mempengaruhi respons dinamis yang dihasilkan, meskipun perbedaannya masih dalam rentang yang wajar untuk bentang sedang.

Selanjutnya, hasil analisis time period struktur atap lengkung untuk kondisi bentang panjang (40 m) disajikan pada Tabel 10.

Tabel 9. *Time Period* Struktur Atap *Pratt Truss* dan *Bowstring Truss* Bentang Panjang

	Case	Mode	Period sec	UX	UY
Pratt	Modal	1	1,991	0,7296	0
Truss	Modal	2	0,574	0	0,9314
Bowstring	Modal	1	2,025	0,7709	0
Truss	Modal	2	0,913	0,	0,9631

Berdasarkan Tabel 10, terlihat bahwa nilai time period pada bentang panjang secara umum lebih besar dibandingkan bentang sedang untuk kedua sistem rangka batang. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan panjang bentang menyebabkan penurunan kekakuan struktur dan meningkatkan fleksibilitas struktur terhadap beban lateral. Pada arah X, Bowstring Truss memiliki nilai time period yang sedikit lebih besar dibandingkan Pratt Truss, yang mengindikasikan bahwa struktur Bowstring Truss cenderung lebih fleksibel pada bentang panjang.

Pada arah Y, Bowstring Truss menunjukkan nilai time period yang relatif konsisten antara bentang sedang dan bentang panjang. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perubahan panjang bentang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekakuan struktur Bowstring Truss pada arah tersebut. Sebaliknya, Pratt Truss menunjukkan peningkatan nilai

time period yang lebih signifikan akibat penambahan bentang, yang mencerminkan terjadinya penurunan kekakuan struktur yang lebih besar dibandingkan Bowstring Truss.

Secara keseluruhan, hasil analisis time period menunjukkan bahwa Pratt Truss cenderung memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan Bowstring Truss, terutama ditinjau dari nilai time period yang lebih kecil pada berbagai kondisi bentang. Namun, pada bentang panjang, Bowstring Truss menunjukkan respons dinamis yang lebih stabil pada arah tertentu akibat konfigurasi geometri lengkung yang mendistribusikan gaya secara lebih merata. Perbedaan karakteristik dinamis ini menjadi salah satu dasar penting dalam mengevaluasi kinerja dan pemilihan sistem struktur atap lengkung yang optimal, terutama ketika dikaitkan dengan hasil lendutan dan rasio kapasitas penampang yang telah dibahas pada subbab sebelumnya.

3.6. Pembahasan

Penelitian ini membandingkan kinerja struktur atap lengkung dengan dua konfigurasi sistem rangka batang, yaitu Pratt Truss dan Bowstring Truss, pada dua variasi bentang, yaitu bentang sedang (20 m) dan bentang panjang (40 m). Seluruh analisis dilakukan menggunakan parameter seismik, pembebanan, dan asumsi desain yang sama, sehingga perbedaan respons struktur yang diperoleh secara langsung mencerminkan pengaruh konfigurasi sistem rangka dan panjang bentang terhadap kinerja struktur.

Dimensi Penampang dan Berat Struktur
Hasil desain iteratif menunjukkan bahwa dimensi penampang struktur yang diperoleh untuk kedua sistem rangka tidak ditetapkan sama, melainkan merupakan hasil optimasi untuk memenuhi kriteria kekuatan dan batas layan sesuai standar. Pada bentang sedang, struktur dengan sistem Pratt Truss memiliki berat total sebesar 98.940 kg, sedikit lebih besar dibandingkan Bowstring Truss sebesar 96.928 kg, dengan selisih sekitar 2,0%. Selisih ini menunjukkan bahwa pada bentang relatif pendek, kedua sistem memiliki efisiensi material yang relatif sebanding.

Sebaliknya, pada bentang panjang, perbedaan berat struktur menjadi lebih signifikan. Struktur Pratt Truss memiliki berat sebesar 162.932 kg, sedangkan Bowstring Truss sebesar 159.670 kg, atau sekitar 2,0% lebih ringan. Hal ini mengindikasikan bahwa pada bentang panjang, konfigurasi Bowstring Truss lebih efisien dalam mendistribusikan gaya internal, sehingga kebutuhan dimensi penampang dapat ditekan tanpa melanggar kriteria desain. Temuan ini sejalan dengan studi terkini yang menyatakan bahwa geometri melengkung pada Bowstring Truss memberikan kontribusi terhadap distribusi gaya tekan dan tarik yang lebih merata pada struktur bentang panjang (misalnya, Mounika, 2020; Zhang et al., 2021).

Kinerja Batas Layan (Lendutan)
Evaluasi kinerja batas layan dilakukan dengan membandingkan lendutan hasil analisis terhadap lendutan izin berdasarkan ASCE 7-16, yaitu sebesar L/240. Dengan demikian, lendutan izin untuk bentang 20 m adalah 83,3 mm, sedangkan untuk bentang 40 m sebesar 166,7 mm. Seluruh lendutan yang diperoleh dari hasil analisis berada jauh di bawah batas izin tersebut, sehingga kedua sistem memenuhi kriteria batas layan.

Secara kuantitatif, pada bentang panjang dan kondisi beban layan, lendutan maksimum Pratt Truss tercatat sebesar 67,72 mm, sedangkan Bowstring Truss hanya 22,21 mm, atau sekitar 67,2% lebih kecil. Perbedaan yang signifikan ini menunjukkan bahwa Bowstring Truss memiliki kekakuan lentur yang lebih baik pada bentang panjang akibat kontribusi

geometri busur pada batang atas dalam menahan beban gravitasi. Sebaliknya, pada bentang sedang, lendutan Pratt Truss relatif lebih kecil dibandingkan Bowstring Truss pada beberapa kondisi pembebanan, yang mengindikasikan bahwa konfigurasi Pratt Truss masih cukup efektif untuk bentang pendek hingga menengah.

Rasio Kapasitas Penampang

Rasio kapasitas penampang dievaluasi berdasarkan kombinasi beban terfaktor sesuai SNI 1727:2020, dengan mempertimbangkan gaya aksial dan momen untuk elemen kolom (interaksi P–M), serta gaya aksial dominan untuk elemen batang rangka. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada bentang sedang, beberapa elemen utama pada struktur Pratt Truss memiliki rasio kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan Bowstring Truss, khususnya pada elemen kolom dan batang atas. Hal ini mengindikasikan bahwa dimensi penampang Pratt Truss pada bentang sedang masih relatif konservatif dan berpotensi untuk dioptimalkan lebih lanjut.

Pada bentang panjang, Bowstring Truss menunjukkan rasio kapasitas yang lebih tinggi dan lebih merata pada batang bawah, yang mencerminkan efektivitas sistem ini dalam menahan gaya tarik akibat geometri melengkung. Secara keseluruhan, distribusi rasio kapasitas pada Bowstring Truss lebih mendekati nilai optimal (mendekati 1,0 namun tetap aman), yang menandakan efisiensi material yang lebih baik dibandingkan Pratt Truss pada bentang panjang. Temuan ini konsisten dengan penelitian terbaru yang menyatakan bahwa sistem truss melengkung lebih efisien untuk struktur bentang besar karena mekanisme aliran gaya yang lebih langsung.

Time Period dan Implikasi Seismik

Hasil analisis modal menunjukkan bahwa *time period* struktur meningkat seiring dengan bertambahnya bentang, yang mencerminkan penurunan kekakuan global struktur. Pada bentang panjang, time period arah dominan Bowstring Truss tercatat sekitar 2,025 detik, sedikit lebih besar dibandingkan Pratt Truss sebesar 1,991 detik, atau meningkat sekitar 1,7%. Meskipun perbedaannya relatif kecil, peningkatan time period ini menunjukkan bahwa Bowstring Truss bersifat sedikit lebih fleksibel dibandingkan Pratt Truss.

Dalam konteks respons seismik dengan parameter gempa yang sama, struktur dengan time period yang lebih panjang cenderung menerima gaya gempa desain yang lebih kecil, namun berpotensi mengalami simpangan yang lebih besar. Hal ini menjelaskan mengapa Bowstring Truss pada bentang panjang menunjukkan lendutan yang relatif lebih besar pada beberapa kondisi beban lateral, meskipun tetap berada dalam batas izin. Dengan demikian, konfigurasi Bowstring Truss memberikan trade-off antara pengurangan gaya gempa dan peningkatan fleksibilitas struktur, yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur atap bentang panjang di wilayah seismik.

Implikasi Desain dan Efisiensi Struktur

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis kuantitatif, dapat disimpulkan bahwa Pratt Truss lebih sesuai untuk bentang sedang karena memberikan kekakuan yang lebih tinggi dan dimensi penampang yang relatif efisien. Sebaliknya, Bowstring Truss lebih optimal untuk bentang panjang, karena mampu mengurangi berat struktur, menurunkan lendutan secara signifikan, serta mendistribusikan gaya internal dengan lebih efisien.

Oleh karena itu, pemilihan sistem truss tidak dapat digeneralisasi, melainkan harus disesuaikan dengan panjang bentang, tuntutan kinerja struktur, serta pertimbangan efisiensi material dan respons seismik. Pembahasan ini menegaskan bahwa konfigurasi

geometri struktur memiliki peran dominan dalam menentukan performa struktur atap lengkung, khususnya pada bangunan bentang besar.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa peningkatan panjang bentang dari 20 m menjadi 40 m secara signifikan memengaruhi respons struktural atap lengkung, yang ditandai dengan peningkatan lendutan maksimum, kenaikan rasio utilisasi elemen, serta bertambahnya natural period struktur yang mengindikasikan penurunan kekakuan global. Pada bentang 20 m, sistem Pratt Truss menunjukkan kinerja yang lebih optimal dengan dimensi penampang yang lebih efisien, berat struktur yang kompetitif, serta rasio utilisasi elemen yang masih berada dalam batas aman dan belum mendekati nilai 1,0. Selain itu, nilai time period yang lebih kecil dibandingkan Bowstring Truss menunjukkan tingkat kekakuan yang lebih tinggi pada bentang ini. Sebaliknya, pada bentang 40 m, sistem Bowstring Truss menunjukkan performa yang lebih unggul, ditandai dengan berat struktur sekitar 2% lebih ringan, serta reduksi lendutan maksimum pada kondisi beban layan yang dapat mencapai lebih dari 60% dibandingkan Pratt Truss, disertai distribusi rasio utilisasi yang lebih merata dan mendekati kondisi optimal. Dari aspek respons dinamis, peningkatan bentang dari 20 m ke 40 m menyebabkan kenaikan natural period yang cukup signifikan, mencerminkan peningkatan fleksibilitas struktur. Pada bentang 40 m, Bowstring Truss memiliki time period yang sedikit lebih besar dibandingkan Pratt Truss, yang berimplikasi pada potensi reduksi gaya gempa rencana, meskipun dengan konsekuensi meningkatnya deformabilitas struktur. Secara keseluruhan, Pratt Truss direkomendasikan untuk bentang 20 m, sedangkan Bowstring Truss lebih sesuai untuk bentang 40 m, khususnya jika kriteria desain difokuskan pada pengendalian lendutan, efisiensi berat (≈2% lebih ringan), serta distribusi gaya internal yang lebih seragam. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan dilakukan kajian parametrik terhadap variasi mutu material, analisis dengan kombinasi beban ekstrem (angin dan gempa), komparasi dengan tipe rangka alternatif, serta validasi eksperimental guna meningkatkan reliabilitas hasil analisis numerik.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, L. (2015). Evaluasi Biaya Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Jenis Pemodelan SRPMB dan SRPMM. *Teknika*, *10*(1), 13–19. https://doi.org/10.26623/teknika.v10i1.752

Aulia, G. S., Abduloh, K. N., & Setiyarto, Y. D. (2025). ALIRAN GAYA PELAT TANGGA KE BALOK-KOLOM: KOMPARASI SKEMA FREE-STANDING VS BEARING DAN EVALUASI KAPASITAS PELAT TANGGA PADA BEBAN GRAVITASI. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, *6*(2). https://doi.org/10.34010/crane.v6i2.17844

Berlanga, B. A., Zisis, I., Matus, M., Azzi, Z., & Irwin, P. I. (2025). Parametric study to investigate span-wire traffic signal system performance during tropical storms. *Frontiers in Built Environment*, *11*. https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1558829

Charney, F. A., Heausler, T. F., & Marshall, J. D. (2020). *Seismic Loads*. American Society of Civil Engineers. https://doi.org/10.1061/9780784415504

Como, M., De Stefano, M., & Ramasco, R. (2003). Effects of column axial force – bending moment interaction on inelastic seismic response of steel frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *32*(12), 1833–1852. https://doi.org/10.1002/eqe.304

Dzikra, M. A., Nasution, M. Z., & Sitompul, M. (2025). Analisis Struktur Baja pada Bangunan Industrial Ester pada Proyek Newland Oleochemical dengan Menggunakan Aplikasi ETABS. *Jurnal Informatika, Multimedia Dan Teknik*, *2*(1), 71–86.

https://doi.org/10.71456/jimt.v2i1.1574
Fanella, D. (2024). *Seismic Design Guide for Steel Reinforced Concrete Buildings*.
Khala, C. C. S., Basyaruddin, B., & Dharmawan, S. (2022). Studi Perbandingan Kinerja Struktur Gedung Eksisting Terhadap SNI 1726:2019 dan 1727:2020. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, *12*(2), 507–514. https://doi.org/10.29103/tj.v12i2.721
Kripka, M. (2025). Truss Structures. In *Optimized and Sustainable Structural Design* (pp. 55–78). https://doi.org/10.1007/978-3-032-11480-8_4
La Ola, M. N., Purnama, H., Makmur, M., & Mandeno, D. (2025). Analisis Numerik Kuda-Kuda Baja Ringan terhadap Lendutan dan Efisiensi pada Berbagai Konfigurasi Struktur. *MEDIA KONSTRUKSI*, *10*(2), 215–224. https://doi.org/10.33772/jmk.v10i2.125
Liu, D., Zhang, X., & Wang, J. (2025). Effect of a vertical baffle on the resonant steady-state sloshing impacts in a square-base container with longitudinal harmonic excitations. *Physics of Fluids*, *37*(2). https://doi.org/10.1063/5.0253602
Lubkov, M. (2025). Modeling of optimal installation of geothermal stations in the isotropic and shear-isotropic porous water reservoirs. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, *81*, 222–231. https://doi.org/10.33271/crpnmu/81.222
M Gote, V. (2025). Analysis Of Multistorey Building Using ETABS. *Engineering and Technology Journal*, *10*(10). https://doi.org/10.47191/etj/v10i10.02
Masulili, T. Z., Susanto, W., & Krismayanti, I. G. A. A. (2024). KAJIAN HUBUNGAN DAKTILITAS KURVATUR TERHADAP BERBAGAI RASIO TULANGAN LENTUR PADA BETON KONVENSIONAL & GLASS FIBER. *Racic : Rab Construction Research*, *9*(2), 530–539. https://doi.org/10.36341/racic.v9i2.4487
Munawir, M., Wahyuni, W., & Meillyta, M. (2018). *PENGARUH KONFIGURASI SENGKANG TERHADAP NILAI MODULUS RETAK KOLOM YANG DIBEBANI GAYA GESER DAN AKSIAL TEKAN 0,2 Po*.
Neyshabouri, H., & Niasati, M. (2025). Modeling and Analysis of the Effect of Grounding and Bonding of Floating Roof Tanks on Their Performance Against the Direct Lightning Strikes. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, *67*(5), 1538–1547. https://doi.org/10.1109/TEMC.2025.3592974
Nugroho, B. C., & Andayani, R. (2024). Analisis Perbandingan Sistem Struktur Gedung Baja Konvensional dan Sistem Struktur Diagrid dengan Konfigurasi Batang Diagonal yang Berbeda. *Jurnal Teknik Sipil*, *20*(1), 94–110. https://doi.org/10.28932/jts.v20i1.6303
Pandit, V., Lamba, A., & Yadav, I. (2025). Reinforcement Design and Seismic Response Analysis: A Comparison of STAAD Pro and ETABS. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, *46*, 160–165.
Prasetyo, T. A., & Nabil, F. (2025). Comparative Analysis of Dimension and Cost Planning of Designed Upper Structure Elements With SRPMB, SRPMM, and SRPMK Structural Systems. *Journal of Social Research*, *4*(10). https://doi.org/10.55324/josr.v4i10.2818
Risma Aprilia. (2025a). Perencanaan Struktur Rangka Baja Portal Ganda Pada Gedung Bertingkat di Wilayah Rawan Gempa. *Momentum Jurnal Inovasi Dan Rekayasa Teknik Sipil (MJIRTS)*, *1*(1), 21–27. https://doi.org/10.64123/mjirts.v1.i1.4
Risma Aprilia. (2025b). Perencanaan Struktur Rangka Baja Portal Ganda Pada Gedung Bertingkat di Wilayah Rawan Gempa. *Momentum Jurnal Inovasi Dan Rekayasa Teknik Sipil (MJIRTS)*, *1*(1), 21–27. https://doi.org/10.64123/mjirts.v1.i1.4
Riza Aryanti. (2024). Pengaruh Variasi Mutu Baja Tulangan Pada Penampang Balok Beton Bertulang. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, *2*(4), 254–261. https://doi.org/10.25077/jbkd.2.4.254-261.2024
Shankar Nair, R., Malley, J. O., & Hooper, J. D. (2011). Design of Steel Buildings for Earthquake and Stability by Application of ASCE 7 and AISC 360. *Engineering Journal*, *48*(3), 199–204. https://doi.org/10.62913/engj.v48i3.1014
Sudarsana, P. B., Singh, J., & Sareen, A. (2025). Wake stabilization and force modulation via

surface dimples on an airfoil at low Reynolds numbers. *Physics of Fluids*, *37*(12). https://doi.org/10.1063/5.0283404

Tauladan, M. W., Monica MG, I., & Suryanita, R. (2025). Analisis Eksperimental Dampak Pemasangan Bracing Pada Struktur SDOF Dan MDOF Terhadap Beban Getar Horizontal. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, *3*(3), 135–147. https://doi.org/10.25077/jbkd.3.3.135-147.2025

Troshin, M. Yu., & Korobko, A. V. (2025). Method for assessing the load-bearing capacity of cross-laminated timber floor structures with variable section parameters. *Building and Reconstruction*, *4*, 61–70. https://doi.org/10.33979/2073-7416-2025-120-4-61-70

Wahyu, A. P., & Arini, R. N. (2024). Analisis Penggunaan Fluid Viscous Damper (FVD) pada Struktur Gedung. *Jurnal Media Teknik Sipil*, *22*(2), 51–58. https://doi.org/10.22219/jmts.v22i2.28781

Wang, Y., & Yu, K. (2024). *Lateral Force Transfer Mechanism of Staggered Truss Structures Influenced by Floor Slab Stiffness*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5399260/v1

Zhou, Y., Hong, J., Zhang, Q., Li, D., & Lie, W. (2024). A rotary lead viscoelastic damper with force-resisting capacity: Experimental verification and parametric analysis. *Structures*, *62*, 106219. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106219