

**ANALISIS EFISIENSI STRUKTURAL GEDUNG POLTEKKES MATARAM MELALUI
PENERAPAN BALOK TIRUS**

***STRUCTURAL EFFICIENCY ANALYSIS OF THE POLTEKKES MATARAM BUILDING THROUGH
THE APPLICATION OF TAPERED BEAMS***

Hairul Fahmi^{*1}, Hariyadi², Adryan Fitrayudha³

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

³Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram

Korespondensi: hairulfahmi965@gmail.com

ABSTRAK

Gedung bertingkat di wilayah rawan gempa memerlukan efisiensi penggunaan material tanpa mengurangi keamanan struktur. Balok prismatis dengan dimensi seragam sepanjang bentang cenderung kurang efisien karena tidak mengikuti distribusi momen lentur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan balok tirus (tapered beam) terhadap efisiensi material dan kinerja struktur Gedung Poltekkes Mataram yang menggunakan sistem ganda berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang. Analisis kuantitatif dilakukan menggunakan ETABS v22 dengan membandingkan Model A (balok prismatis) dan Model B (balok tirus) berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019. Parameter yang dianalisis meliputi volume beton, berat struktur, gaya dalam, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antarlantai (*interstory drift*), dan periode getar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan balok tirus mengurangi volume beton balok sebesar 111,11 m³ (13,61%) dan berat total struktur sebesar 2.666,64 kN (4,06%), sehingga menurunkan gaya geser dasar sebesar 3,09 % pada kedua arah pembebanan. Simpangan antarlantai tetap berada di bawah batas izin sebesar 42 mm dan periode getar fundamental tidak mengalami perubahan. Dengan demikian, balok tirus mampu meningkatkan efisiensi penggunaan material sekaligus menurunkan gaya gempa tanpa mengurangi kinerja global struktur, sehingga layak dipertimbangkan sebagai alternatif desain balok beton bertulang pada bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa.

Kata Kunci: Balok Tirus, Efisiensi Material, Gaya Geser Dasar, Respons Struktur, Volume Beton

ABSTRACT

Multi-story buildings in seismic-prone regions require material efficiency without compromising safety. Prismatic beams are often inefficient as they do not follow bending moment distributions. This study evaluates the effect of tapered beams on the material efficiency and structural performance of the Poltekkes Mataram Building, which uses a dual system (SMRF and shear walls). Quantitative analysis was conducted using ETABS v22 comparing Model A (prismatic) and Model B (tapered) based on SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, and SNI 2847:2019. Evaluated parameters included concrete volume, weight, base shear, drift, and natural period. Results show that tapered beams reduced beam concrete volume by 111.11 m³ (13.61%) and total weight by 2,666.64 kN (4.06%), lowering base shear by 3.09% in both directions. Interstory drift remained below the 42 mm limit, and the natural period was unchanged. Therefore, tapered beams effectively improve material efficiency and reduce seismic forces without compromising global structural performance, making them a viable alternative for reinforced concrete design in seismic-prone areas.

Keywords: Base Shear, Concrete Volume, Material Efficiency, Structural Response, Tapered Beam

PENDAHULUAN

Gedung layanan pendidikan merupakan fasilitas publik yang berfungsi untuk mendukung kegiatan pembelajaran, penelitian, dan pengembangan ilmu pengetahuan, sehingga memerlukan struktur yang aman, andal, serta memenuhi standar teknis (Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Salah satu fasilitas tersebut adalah Gedung Politeknik Kesehatan (Poltekkes) Kementerian Kesehatan Mataram yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan ruang pendidikan dan laboratorium. Mengingat gedung ini merupakan bangunan bertingkat yang berlokasi di wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tinggi, perencanaan strukturnya harus memperhatikan aspek keamanan, kekakuan, stabilitas, serta efisiensi penggunaan material agar mampu memberikan kinerja struktur yang optimal (Pratiwi et al., 2025).

Salah satu permasalahan dalam perencanaan struktur gedung bertingkat adalah upaya menghasilkan struktur yang memenuhi aspek keamanan sekaligus efisiensi material. Penerapan balok prismatis dengan dimensi yang seragam sepanjang bentang belum sepenuhnya mampu mengakomodasi distribusi gaya dalam yang tidak merata (Firdaus & Suprpto, 2025). Akibatnya, penggunaan material pada beberapa bagian elemen struktur menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam desain elemen struktur yang dapat menyesuaikan dimensi penampang dengan kebutuhan kapasitas pada setiap lokasi, sehingga tercapai efisiensi penggunaan material tanpa mengurangi kekuatan, kekakuan, dan stabilitas struktur.

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi struktur adalah penggunaan balok tirus (*tapered beam*). Balok tirus merupakan elemen struktur dengan dimensi penampang yang berubah secara bertahap sepanjang bentangnya sesuai dengan distribusi gaya dalam yang bekerja (Jasim & Nimnim, 2023). Penyesuaian dimensi penampang pada balok tirus mengikuti distribusi kebutuhan kapasitas lentur sepanjang bentang, sehingga penggunaan material dapat disesuaikan dengan kebutuhan struktur. Pengaruh perubahan geometri tersebut terhadap efisiensi volume beton dianalisis pada subbab berikutnya (Hassan & Yousif, 2024). Selain meningkatkan efisiensi penggunaan material, berkurangnya berat sendiri struktur akibat penerapan balok tirus juga berpotensi mengurangi gaya gempa yang bekerja pada bangunan,

mengingat besarnya gaya seismik berbanding lurus dengan massa struktur.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan balok tirus (*tapered beam*) dapat meningkatkan efisiensi struktur melalui optimalisasi penggunaan material dan pengurangan berat sendiri bangunan tanpa mengurangi kemampuan struktur dalam memikul beban gravitasi maupun beban gempa (Vu & Chu, 2024). Meskipun demikian, tingkat efektivitas penerapannya masih menunjukkan hasil yang bervariasi karena dipengaruhi oleh karakteristik bangunan, sistem struktur, dimensi elemen, mutu material, serta metode analisis dan kondisi pembebanan yang digunakan (Imran & Awad, 2024). Variasi tersebut menunjukkan bahwa kinerja balok tirus belum dapat digeneralisasi untuk seluruh jenis bangunan, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi efektivitas penerapannya pada objek dan kondisi perencanaan yang berbeda.

Berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, penelitian ini difokuskan pada evaluasi penerapan balok tirus (*tapered beam*) pada struktur Gedung Poltekkes Mataram melalui pendekatan pemodelan dan analisis struktur berbantuan perangkat lunak ETABS v22. Analisis dilakukan dengan membandingkan model struktur yang menggunakan balok prismatis sebagai kondisi eksisting dengan model struktur yang dimodifikasi menggunakan balok tirus. Seluruh proses pemodelan dan analisis dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019 untuk mengevaluasi pengaruh penerapan balok tirus terhadap efisiensi material serta kinerja struktur dalam memikul beban gravitasi dan beban gempa (Badan Standardisasi Nasional, 2019a, 2019b, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan balok tirus (*tapered beam*) terhadap efisiensi dan kinerja struktur Gedung Poltekkes Mataram melalui analisis komparatif antara model struktur yang menggunakan balok prismatis dan model struktur yang menggunakan balok tirus. Evaluasi dilakukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu volume beton, berat struktur, gaya dalam, simpangan antarlantai (*interstory drift*), gaya geser dasar (*base shear*), dan periode getar struktur. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi landasan ilmiah bagi pengembangan desain struktur yang lebih efisien, aman, dan ekonomis, serta menjadi referensi dalam penerapan balok tirus pada bangunan pendidikan bertingkat, khususnya di wilayah dengan tingkat

aktivitas seismik yang tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Balok Tirus (*Tapered Beam*)

Balok tirus atau balok non-prismatis merupakan elemen struktur yang memiliki dimensi penampang tidak seragam atau berubah secara bertahap sepanjang bentangnya (Laintarawan & Silvi, 2024). Prinsip dasar desain balok ini adalah menyesuaikan geometri penampang dengan distribusi gaya dalam, khususnya momen lentur yang bekerja pada elemen tersebut. Berbeda dengan balok prismatis yang memiliki tinggi penampang konstan, balok tirus memungkinkan penggunaan material yang lebih optimal pada daerah dengan kebutuhan kapasitas lentur yang lebih rendah, seperti pada daerah lapangan untuk balok dengan peletakan jepit-jepit (Laintarawan & Silvi, 2024; Manubulu, 2023).

Efisiensi Material dan Massa Struktur

Penerapan penampang non-prismatis telah terbukti dapat meningkatkan efisiensi struktur melalui pengurangan volume beton dan berat sendiri bangunan tanpa mengurangi kemampuan struktur dalam memikul beban desain (Suparp et al., 2023). Secara teoritis, efisiensi volume beton pada balok beton bertulang dapat dicapai dengan mempertahankan tinggi penampang maksimum pada daerah tumpuan untuk memikul momen negatif, serta mengurangi tinggi penampang menuju daerah lapangan sesuai dengan distribusi momen lentur sepanjang bentang. Selain penghematan biaya material, pengurangan volume beton secara langsung menurunkan berat total struktur (Badan Standardisasi Nasional, 2020).

Analisis Beban Gempa dan Massa Seismik

Dalam perencanaan struktur di wilayah rawan gempa, massa struktur merupakan parameter krusial karena besarnya gaya seismik berbanding lurus dengan massa efektif bangunan (Chopra, 2017). Berdasarkan SNI 1726:2019, gaya geser dasar seismik (*base shear*) ditentukan oleh koefisien respons seismik (C_s) dan berat seismik efektif bangunan (W) melalui persamaan (1)

$$V = C_s \times W \quad (1)$$

Oleh karena itu, reduksi berat sendiri struktur

melalui penggunaan balok tirus berpotensi menurunkan beban gempa rencana yang bekerja pada bangunan, yang pada akhirnya dapat mengoptimalkan kebutuhan dimensi elemen struktur vertikal dan fondasi.

Persyaratan Beton Struktural dan Desain Penampang

Desain elemen lentur beton bertulang dengan penampang variabel tetap harus memenuhi persyaratan kekuatan dan servisabilitas sesuai dengan standar yang berlaku (Badan Standardisasi Nasional, 2019). SNI 2847:2019 mengatur persyaratan kekuatan, detailing penulangan, dan ketentuan daktilitas untuk elemen beton bertulang, termasuk pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sedangkan batas simpangan struktur diatur dalam SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019a, 2019b). Selain itu, penentuan dimensi awal balok untuk kontrol lendutan dapat menggunakan pendekatan rasio bentang terhadap tinggi (*span-to-depth ratio*) sebagai pedoman awal perencanaan agar kekakuan struktur tetap memadai (Darwin et al., 2020).

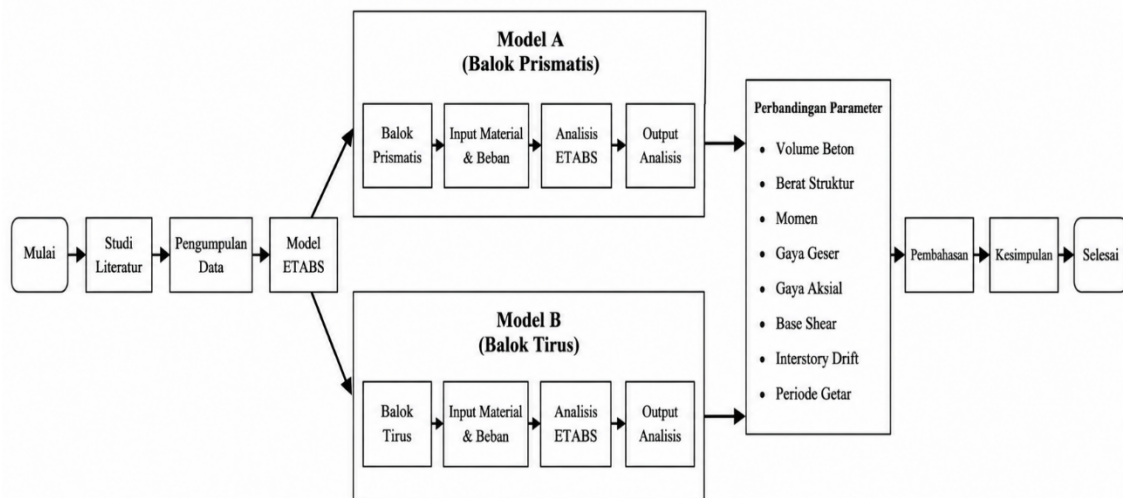
METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemodelan dan analisis struktur berbantuan perangkat lunak ETABS v22 untuk mengevaluasi pengaruh penerapan balok tirus terhadap efisiensi material dan kinerja struktur. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen perencanaan struktur Gedung Poltekkes Mataram, meliputi gambar struktur, dimensi elemen, spesifikasi material, serta data pembebanan. Seluruh proses pemodelan, analisis, dan evaluasi dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, serta SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (Badan Standardisasi Nasional, 2019a, 2019b, 2020).

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan dan verifikasi data perencanaan untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi informasi yang digunakan dalam proses analisis. Data yang telah diverifikasi kemudian digunakan sebagai dasar penyusunan model struktur tiga dimensi. Pemodelan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu model struktur dengan balok prismatis sebagai model acuan dan model struktur dengan balok tirus sebagai model modifikasi untuk mengevaluasi pengaruh perubahan geometri balok terhadap respons struktur (Morano et al., 2024). Kedua model disusun menggunakan parameter yang sama,

persyaratan terpenuhi.

Tahap berikutnya adalah melakukan evaluasi secara komparatif terhadap kedua model struktur berdasarkan parameter yang telah ditetapkan. Parameter yang dianalisis meliputi volume beton, berat struktur, momen lentur, gaya geser, gaya aksial, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antarlantai (*interstory drift*), dan periode getar struktur. Seluruh hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi serta analisis pengaruh penerapan balok tirus terhadap efisiensi material dan kinerja struktur.



Gambar 1. Diagram tahap penelitian

Sumber: Penulis (2026)

meliputi geometri bangunan, dimensi kolom dan pelat, mutu material, kondisi peletakan, serta sistem struktur, sehingga perbedaan hasil analisis hanya dipengaruhi oleh perubahan bentuk penampang balok.

Selanjutnya dilakukan pendefinisian karakteristik material, pembebanan, dan kombinasi pembebanan sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku (Badan Standardisasi Nasional, 2019a, 2020). Analisis struktur dilakukan menggunakan metode Response Spectrum Analysis untuk memperoleh respons struktur terhadap kombinasi pembebanan yang diberikan (Badan Standardisasi Nasional, 2019b). Hasil analisis selanjutnya diverifikasi berdasarkan persyaratan kekuatan, kekakuan, stabilitas, serta batas simpangan yang ditetapkan dalam standar perencanaan (Badan Standardisasi Nasional, 2019a, 2019b). Apabila model balok tirus belum memenuhi kriteria tersebut, dilakukan penyesuaian dimensi penampang dan analisis diulang hingga seluruh

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam studi ini disusun secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Struktur dan Variabel Penelitian

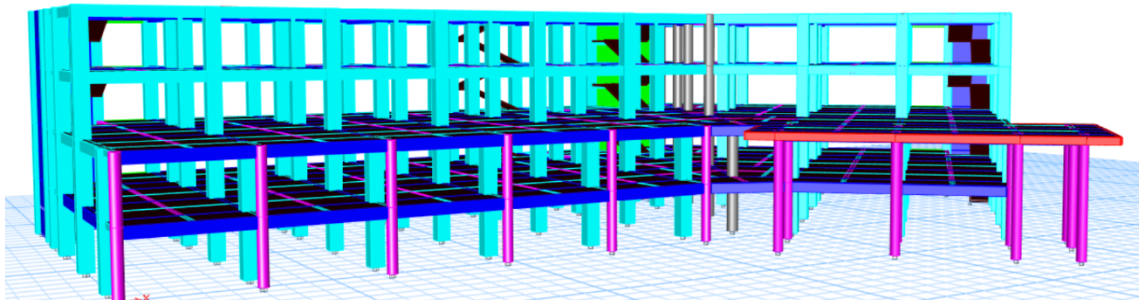
Model struktur yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas model eksisting dengan balok prismatis dan model modifikasi dengan balok tirus. Kedua model dikembangkan menggunakan perangkat lunak ETABS v22 dengan konfigurasi struktur yang identik. Pengaruh perubahan geometri balok terhadap respons struktur dapat dievaluasi secara langsung. Seluruh parameter pemodelan dipertahankan tetap pada kedua model, sedangkan perubahan hanya dilakukan pada geometri penampang balok sebagai variabel penelitian. Gedung yang dianalisis merupakan Gedung Poltekkes Mataram yang terdiri atas satu lantai dasar dan empat lantai, dengan tinggi bangunan

sebesar 16,8 m. Sistem struktur yang digunakan merupakan sistem ganda (*dual system*) yang terdiri atas Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang sesuai dengan dokumen perencanaan struktur eksisting.

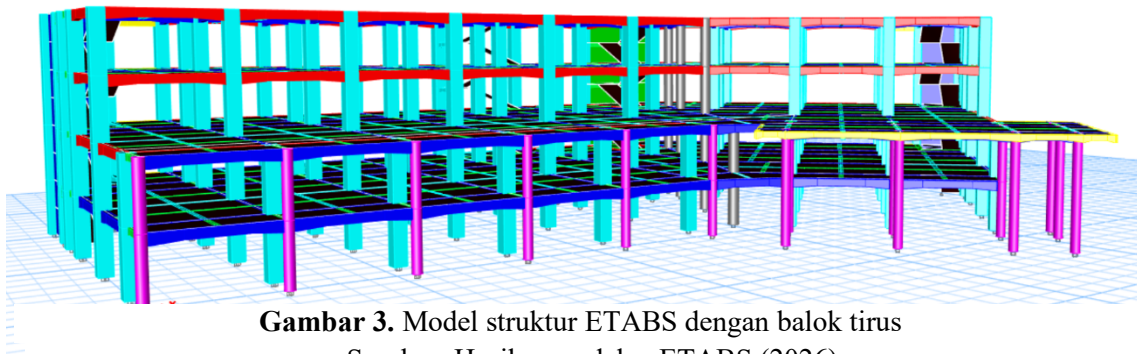
Perbedaan antara kedua model hanya terletak pada bentuk penampang balok. Model eksisting menggunakan balok prismatis dengan tinggi penampang yang konstan sepanjang bentang, sedangkan model modifikasi menggunakan balok tirus dengan tinggi penampang yang berubah secara bertahap dari daerah tumpuan menuju daerah

lapangan. Perubahan tersebut dilakukan tanpa mengubah dimensi kolom, dinding geser, pelat lantai, maupun elemen struktur lainnya.

Gambar 4 memperlihatkan perbedaan geometri balok yang digunakan pada kedua model. Balok prismatis memiliki tinggi penampang yang konstan sepanjang bentang, sedangkan balok tirus dirancang dengan tinggi penampang yang lebih besar pada daerah tumpuan dan mengecil secara bertahap menuju daerah lapangan. Modifikasi tersebut diterapkan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan geometri balok terhadap efisiensi



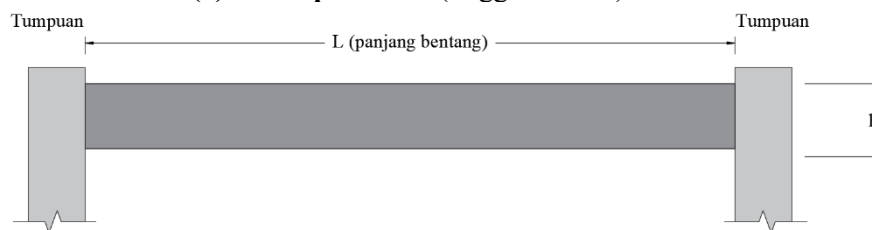
Gambar 2. Model struktur ETABS dengan balok prismatis



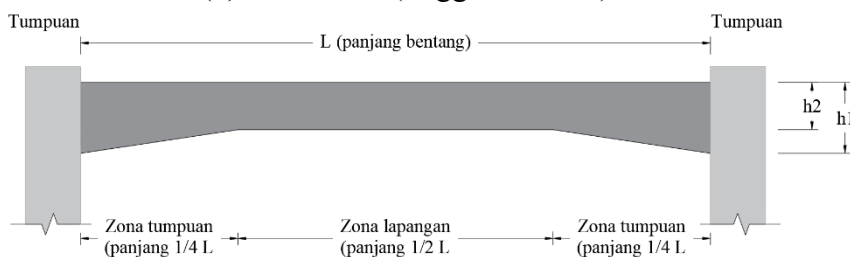
Gambar 3. Model struktur ETABS dengan balok tirus

Sumber: Hasil pemodelan ETABS (2026)

(a) Balok prismatis (tinggi konstan)



(b) Balok tirus (tinggi bervariasi)



Gambar 4. Perbandingan geometri balok prismatis dan balok tirus

Sumber: Penulis (2026)

material dan respons struktur dibandingkan dengan model balok prismatis.

Tabel 1. Karakteristik model struktur yang dianalisis

Parameter	Nilai
Jumlah lantai	Lantai dasar + empat lantai tingkat
Tinggi bangunan	16,8 m
Sistem struktur	Sistem ganda (SRPMK + dinding geser)
Mutu beton	$f'_c = 25 \text{ MPa}$
Mutu baja tulangan	BJTS-420 B ($f_y = 420 \text{ MPa}$)
Variabel penelitian	Bentuk penampang balok (prismatis dan tirus)

Sumber: Dokumen Detail Engineering Design (DED) Gedung Poltekkes Mataram (2023)

Penentuan Dimensi Balok Tirus

Distribusi momen lentur pada Model A (balok prismatis) digunakan sebagai dasar dalam penentuan dimensi balok tirus. Penentuan dimensi dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pemeriksaan tinggi penampang pada daerah tumpuan dan penentuan tinggi penampang pada daerah lapangan. Tinggi penampang pada daerah tumpuan ditentukan melalui pemeriksaan dimensi awal berdasarkan

rasio bentang terhadap tinggi (*span-to-depth ratio*), sedangkan tinggi penampang pada daerah lapangan ditentukan berdasarkan rasio momen lapangan terhadap momen tumpuan (P_m) (Awad & Rasheed, 2024; Imran & Awad, 2024). Selanjutnya, tinggi penampang pada daerah lapangan dipilih dengan mempertimbangkan rentang tinggi penampang hasil perhitungan agar tetap memenuhi kriteria perencanaan. Hasil penentuan dimensi balok tirus untuk setiap tipe balok disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Penentuan dimensi balok tirus berdasarkan rasio momen lentur

Tipe Balok	Bentang, L (mm)	Penampang Eksisting (mm)	Mt (kN·m)	MI (kN·m)	Pm %	Dimensi Balok Tirus (mm)
B1	8.000	350 × 700	382,964	383,918	100,2	350 × 700-600
B2	4.000	300 × 400	216,174	132,036	61,1	300 × 400-300
B3	8.000	300 × 500	90,7163	74,9746	82,6	300 × 500-400
B4	8.000	300 × 600	264,233	188,046	71,2	300 × 600-450
B5	4.000	250 × 500	48,0538	16,3405	34,1	250 × 500-300
B6	8.000	400 × 700	470,335	328,422	69,8	400 × 700-600
B7	8.000	400 × 800	467,886	413,479	88,4	400 × 800-700

*L = panjang bentang balok

*Penampang eksisting balok dinyatakan dalam format $b \times h$

*Mt = momen lentur maksimum pada daerah tumpuan

*MI = momen lentur maksimum pada daerah lapangan

*Pm = rasio momen lapangan terhadap momen tumpuan

*Dimensi balok tirus dinyatakan dalam format $b \times h_1-h_2$, dengan b = lebar balok, h_1 = tinggi balok pada daerah tumpuan, dan h_2 = tinggi balok pada daerah lapangan

Sumber: Hasil perhitungan dan analisis (2026)

Sebagai contoh, balok tipe B1 memiliki bentang 8.000 mm dengan dimensi penampang eksisting 350 × 700 mm. Pemeriksaan dimensi awal berdasarkan rasio bentang terhadap tinggi (*span-to-depth ratio*) menunjukkan bahwa tinggi minimum penampang pada daerah tumpuan adalah 666,667 mm ($L/12$) (Awad & Rasheed, 2024). Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan tinggi penampang eksisting sebesar 700 mm, sehingga tinggi penampang pada daerah tumpuan dipertahankan sebesar 700 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa

momen lentur maksimum pada daerah tumpuan sebesar 382,964 kN·m, sedangkan pada daerah lapangan sebesar 383,918 kN·m. Berdasarkan perbandingan kedua nilai tersebut, persentase momen lapangan terhadap momen tumpuan (P_m) diperoleh sebesar 100,2 %. Berdasarkan nilai tersebut, batas atas tinggi penampang lapangan diperoleh sebesar 701,743 mm ($h_e \times P_m$), sedangkan batas bawah ditentukan sebesar 380,952 mm ($L/21$). Dengan mempertimbangkan kedua batas tersebut, tinggi penampang daerah lapangan

ditetapkan sebesar 600 mm karena nilainya berada dalam rentang yang diizinkan, yaitu $380,952 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \leq 701,743 \text{ mm}$.

Pendekatan penentuan dimensi tersebut mengacu pada konsep dasar balok tirus, yaitu menyesuaikan geometri penampang berdasarkan distribusi momen lentur pada balok. Berbeda dengan balok prismatis yang memiliki tinggi penampang konstan, balok tirus menggunakan tinggi penampang yang berubah secara bertahap sesuai dengan distribusi momen lentur di sepanjang bentang balok (Imran & Awad, 2024). Dengan demikian, perubahan dimensi penampang ditetapkan berdasarkan distribusi momen lentur sehingga dimensi balok tirus yang direncanakan tetap memenuhi kriteria perencanaan dan selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap volume beton dan respons struktural.

Pendekatan yang sama diterapkan pada seluruh tipe balok yang dimodifikasi, yaitu B2, B3, B4, B5, B6, dan B7. Dimensi setiap balok ditentukan berdasarkan distribusi momen lentur masing-masing sehingga diperoleh konfigurasi balok tirus yang digunakan sebagai Model B pada tahap analisis berikutnya.

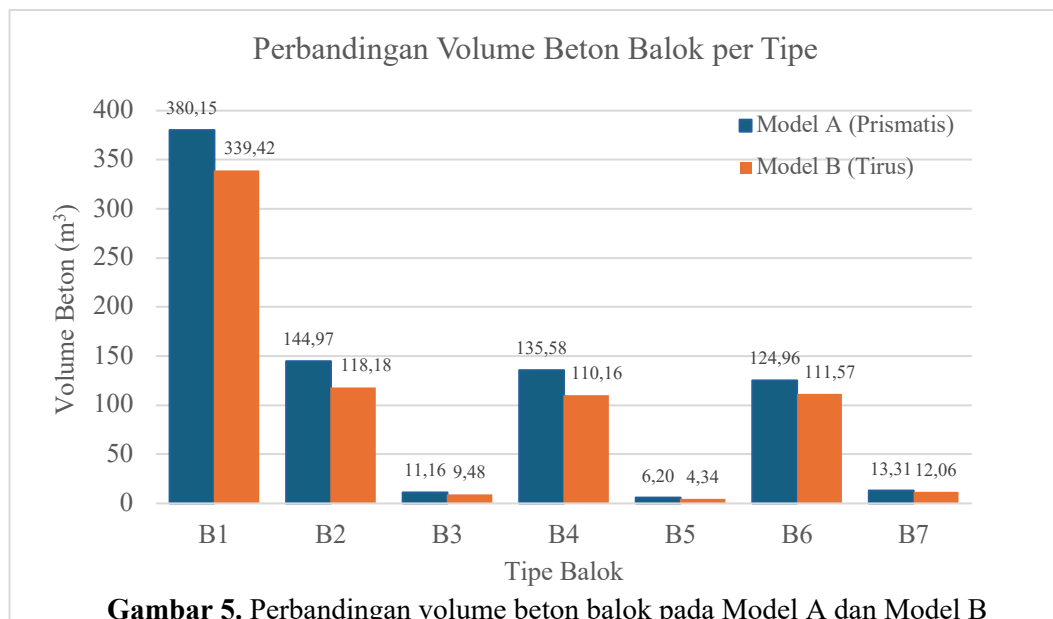
Volume Beton Balok

Volume beton balok pada Model A (balok prismatis) dan Model B (balok tirus) disajikan pada **Tabel 3**, sedangkan perbandingan volume total kedua model ditunjukkan pada **Gambar 5**. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan balok tirus menurunkan volume beton balok dari 816,32 m³ menjadi 705,21 m³, sehingga diperoleh reduksi sebesar 111,11 m³ atau 13,61 % dibandingkan dengan Model A.

Tabel 3. Perbandingan volume beton balok pada Model A dan Model B

Tipe Balok	Model A (m ³)	Model B (m ³)	Selisih (m ³)	Reduksi (%)
B1	380,15	339,42	40,73	10,71
B2	144,97	118,18	26,79	18,48
B3	11,16	9,48	1,67	15,00
B4	135,58	110,16	25,42	18,75
B5	6,20	4,34	1,86	30,00
B6	124,96	111,57	13,39	10,71
B7	13,31	12,06	1,25	9,38
Jumlah	816,32	705,21	111,11	13,61

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)



Gambar 5. Perbandingan volume beton balok pada Model A dan Model B

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)

Seluruh tipe balok mengalami penurunan volume beton, dengan besaran reduksi yang berbeda antartipe balok. Reduksi terbesar terjadi pada balok tipe B5, yaitu sebesar 30,00 %, sedangkan reduksi terkecil terjadi pada balok tipe B7, yaitu sebesar 9,38 %. Dari sisi volume absolut, balok tipe B1 memberikan kontribusi penurunan terbesar, yaitu 40,73 m³, diikuti oleh balok B2 sebesar 26,79 m³ dan balok B4 sebesar 25,42 m³. Temuan ini menunjukkan bahwa besarnya pengurangan volume beton tidak hanya dipengaruhi oleh persentase reduksi dimensi balok, tetapi juga oleh jumlah dan ukuran balok pada setiap tipe.

Perbedaan besarnya reduksi volume tersebut berkaitan dengan distribusi momen lentur pada masing-masing tipe balok. Balok yang memiliki selisih momen lentur yang lebih besar antara daerah tumpuan dan daerah lapangan memungkinkan penurunan tinggi penampang yang lebih besar, sehingga penggunaan volume beton menjadi lebih efisien. Sebaliknya, pada balok dengan distribusi momen lentur yang relatif merata, penyesuaian tinggi penampang menjadi lebih terbatas sehingga reduksi volume beton yang diperoleh juga lebih kecil. Temuan ini sejalan dengan konsep desain

balok tirus yang menerapkan variasi geometri penampang berdasarkan distribusi momen lentur pada setiap bagian balok (Imran & Awad, 2024). Efektivitas penerapan balok tirus juga dipengaruhi oleh karakteristik elemen struktur dan distribusi momen lentur (Darwin et al., 2020).

Secara keseluruhan, penerapan balok tirus menghasilkan pengurangan volume beton sebesar 13,61% dibandingkan dengan Model A. Reduksi volume beton menjadi dasar dalam evaluasi berat sendiri struktur, mengingat berat balok ditentukan berdasarkan volume beton dengan asumsi berat jenis beton sebesar 24 kN/m³.

Berat Struktur

Berat masing-masing komponen struktur pada Model A (balok prismatis) dan Model B (balok tirus) disajikan pada Tabel 4. Hasil analisis menunjukkan bahwa berat total struktur berkurang dari 65.680,99 kN pada Model A menjadi 63.014,35 kN pada Model B, sehingga terjadi pengurangan sebesar 2.666,64 kN atau 4,06 %.

Tabel 4. Perbandingan berat struktur pada Model A dan Model B

Komponen Struktur	Model A (kN)	Model B (kN)	Selisih (kN)
Kolom	18.328,61	18.328,61	0,00
Balok	19.591,69	16.925,04	2.666,64
Dinding geser	3.492,01	3.492,01	0,00
Pelat lantai	23.337,44	23.337,44	0,00
Pelat dinding	931,24	931,24	0,00
Total	65.680,99	63.014,35	2.666,64

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)

Pengurangan berat struktur hanya terjadi pada komponen balok, sedangkan berat kolom, dinding geser, pelat lantai, dan pelat dinding tidak mengalami perubahan pada kedua model. Kondisi ini disebabkan oleh modifikasi yang hanya diterapkan pada geometri balok, sementara dimensi, mutu material, dan konfigurasi elemen struktur lainnya dipertahankan identik pada kedua model.

Secara teoritis, berat sendiri merupakan salah satu komponen utama yang membentuk massa seismik struktur. Menurut SNI 1726:2019, gaya geser dasar seismik dipengaruhi oleh berat seismik efektif bangunan (W) melalui hubungan $V = C_s \times W$ (Badan Standardisasi Nasional, 2020). Oleh karena itu, pengurangan berat struktur akibat penggunaan balok tirus berpotensi menurunkan besarnya gaya

geser dasar yang bekerja pada struktur. Pengaruh tersebut selanjutnya dievaluasi melalui analisis gaya geser dasar (*base shear*).

Gaya Dalam

Gaya dalam pada kedua model dibandingkan menggunakan tiga elemen balok representatif dan satu elemen kolom yang memiliki lokasi yang sama pada kedua model. Parameter yang dianalisis meliputi momen lentur, gaya geser, gaya aksial, dan torsi. Hasil analisis perbandingan gaya dalam pada elemen balok dan kolom disajikan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**. Uraian pembahasan diawali dengan analisis gaya dalam pada balok, kemudian dilanjutkan dengan analisis gaya dalam pada kolom.

Tabel 5. Perbandingan gaya dalam balok

Komponen Struktur	Parameter	Model A	Model B	Perubahan %
Balok B1 (Grid 3 (K-M), Lt.2)	Mu (+) Tumpuan (kN.m)	369,51	354,68	-4,01
	Mu (-) Lapangan (kN.m)	383,92	436,31	13,65
	Vu (kN)	284,92	299,74	5,20
	Tu (kN.m)	2,67	0,66	-75,34
Balok B6 (Grid 5-8 (G), Lt.4)	Mu (+) Tumpuan (kN.m)	419,37	476,84	13,70
	Mu (-) Lapangan (kN.m)	288,72	274,56	-4,90
	Vu (kN)	490,21	493,37	0,64
	Tu (kN.m)	44,81	6,35	-85,83
Balok Anak (Grid 3-4, E-F, Lt.2)	Mu (+) Tumpuan (kN.m)	115,36	81,65	-29,22
	Mu (-) Lapangan (kN.m)	208,18	187,80	-9,79
	Vu (kN)	130,33	112,97	-13,32
	Tu (kN.m)	0,56	0,12	-78,57

*Nilai gaya dalam pada balok Model A (balok prismatis)

*Nilai gaya dalam pada balok Model B (balok tirus)

*Persentase perubahan gaya dalam Model B terhadap Model A

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)

Tabel 6. Perbandingan gaya dalam balok

Parameter	Model A	Model B	Perubahan
P maksimum (kN)	6.321,91	6.389,95	1,07
P minimum (kN)	7.479,51	7.474,43	-0,07
M2 maksimum (kN.m)	594,52	596,25	0,29
M2 minimum (kN.m)	544,17	540,61	-0,65
M3 maksimum (kN.m)	291,06	284,53	-2,24
M3 minimum (kN.m)	335,23	322,26	-3,89
V2 (kN)	180,81	175,16	-3,12
V3 (kN)	347,46	353,44	1,72

*Nilai gaya dalam pada kolom Model A (balok prismatis)

*Nilai gaya dalam pada kolom Model B (balok tirus)

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)

Perubahan gaya dalam pada ketiga balok menunjukkan pola yang berbeda. Pada Balok B1 dan Balok B6, momen di daerah tumpuan meningkat masing-masing sebesar 4,01 % dan 13,70 %, sedangkan perubahan momen di daerah lapangan tidak menunjukkan pola yang seragam. Sebaliknya, Balok Anak menunjukkan penurunan momen pada daerah tumpuan dan daerah lapangan, masing-masing sebesar 29,22 % dan 9,79 %. Perubahan gaya geser relatif kecil, yaitu di bawah 15 % pada seluruh elemen, sedangkan torsi mengalami penurunan yang berkisar antara 75 % hingga 86 %. Pada elemen kolom, seluruh parameter gaya dalam berubah kurang dari 4 %, menunjukkan bahwa pengaruh modifikasi balok terhadap elemen vertikal relatif kecil.

Perubahan nilai momen lentur, gaya geser, dan torsi pada balok dipengaruhi oleh perubahan kekakuan lentur akibat variasi tinggi penampang. Secara teoritis, kekakuan lentur suatu elemen

bergantung pada nilai EI, sedangkan momen inersia penampang balok persegi panjang sebanding dengan $bh^3/12$. Oleh karena itu, pengurangan tinggi penampang pada daerah lapangan menyebabkan perubahan kekakuan lokal yang selanjutnya memengaruhi distribusi momen lentur, gaya geser, dan torsi dibandingkan dengan model balok prismatis.

Besarnya perubahan pada setiap elemen tidak seragam karena dipengaruhi oleh kondisi perletakan, panjang bentang, dan distribusi pembebanan (Darwin et al., 2020). Perubahan gaya dalam pada kolom yang relatif kecil menunjukkan bahwa modifikasi geometri balok hanya memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap distribusi beban pada elemen vertikal. Hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan balok tirus terutama memengaruhi respons lokal pada elemen balok, sedangkan respons global struktur tetap relatif stabil.

Temuan tersebut sejalan dengan konsep

balok tirus yang menerapkan variasi dimensi penampang berdasarkan distribusi momen lentur, sehingga penggunaan material beton menjadi lebih efisien (Imran & Awad, 2024; Petrova, 2026).

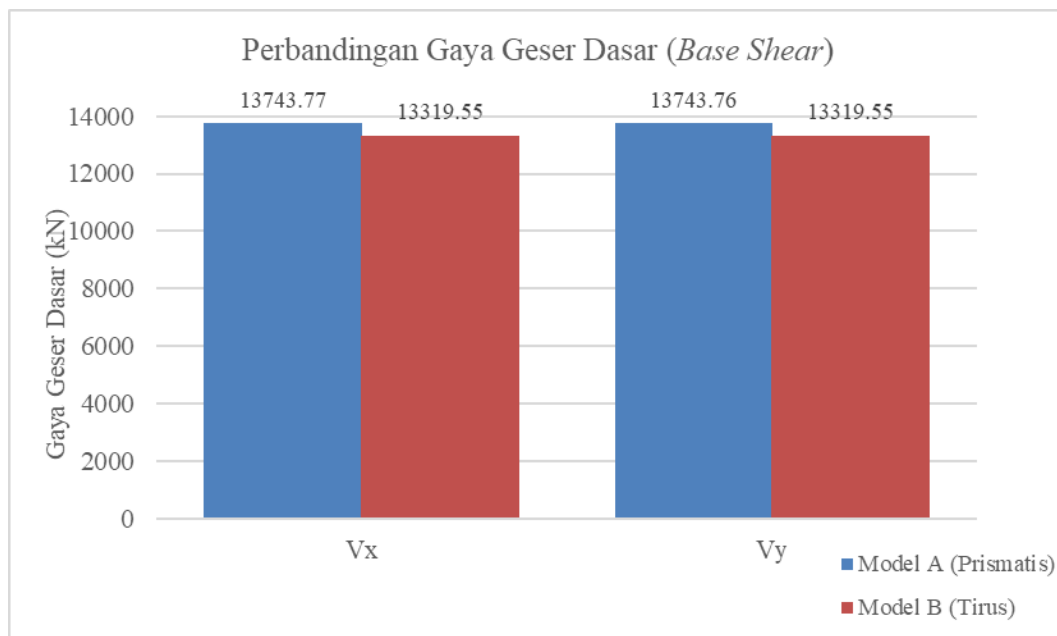
Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar hasil analisis response spectrum pada kedua model disajikan pada **Tabel 7**, sedangkan perbandingan nilai *base shear* ditunjukkan pada **Gambar 6**.

Tabel 7. Gaya geser dasar hasil analisis *response spectrum*

Parameter	Model A	Model B
Berat seismik efektif, W (kN)	85.607,48	82.965,06
Koefisien respons seismik, C_s	0,160544	0,160544
Gaya geser dasar arah X, V_x (kN)	13.743,77	13.319,55
Gaya geser dasar arah Y, V_y (kN)	13.743,76	13.319,53

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)



Gambar 6. Perbandingan gaya geser dasar pada Model A dan Model B

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)

Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya geser dasar mengalami penurunan pada kedua arah pembebanan. Pada arah X, *base shear* berkurang dari 13.743,77 kN menjadi 13.319,55 kN, sedangkan pada arah Y berkurang dari 13.743,76 kN menjadi 13.319,53 kN. Penurunan tersebut setara dengan 3,09 %, sejalan dengan berkurangnya berat seismik efektif dari 85.607,48 kN menjadi 82.965,06 kN. Sementara itu, nilai koefisien respons seismik (C_s) tetap sama pada kedua model karena parameter bahaya gempa, kelas situs, faktor keutamaan, dan sistem struktur tidak mengalami perubahan.

Penurunan gaya geser dasar tersebut terutama dipengaruhi oleh berkurangnya berat seismik efektif. Sesuai dengan persamaan $V = C_s \times W$ pada SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019), apabila nilai koefisien respons seismik (C_s) tetap, maka gaya geser dasar berbanding lurus dengan berat seismik efektif (W). Oleh karena itu, pengurangan berat struktur akibat penerapan balok tirus secara langsung menyebabkan penurunan gaya gempa rencana yang bekerja pada bangunan. Temuan ini menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan material yang diperoleh melalui penerapan balok tirus tidak hanya mengurangi berat struktur, tetapi juga berkontribusi pada penurunan gaya gempa rencana tanpa mengubah

sistem penahan gaya lateral bangunan. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa pengurangan massa struktur merupakan salah satu pendekatan yang efektif untuk menurunkan respons seismik bangunan (Hassan & Yousif, 2024).

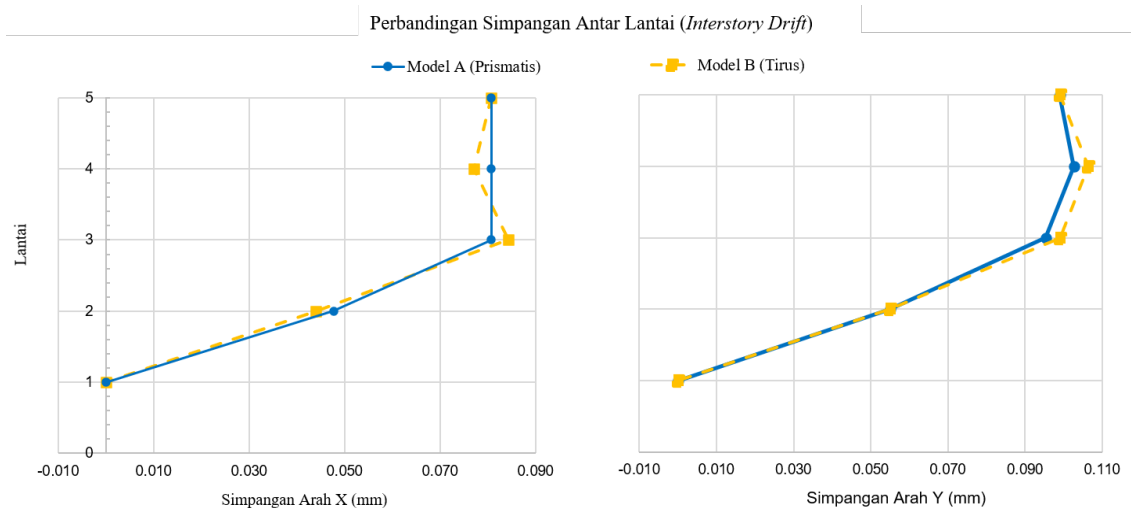
Simpangan Antar Lantai (*Interstory Drift*)

Simpangan antarlantai pada arah X dan arah Y untuk kedua model disajikan pada **Tabel 8**, sedangkan perbandingan nilai simpangan maksimum ditunjukkan pada **Gambar 7**.

Tabel 8. Simpangan antar lantai

Lantai	Model A Δx (mm)	Model B Δx (mm)	Model A Δy (mm)	Model B Δy (mm)	Batas Izin (mm)
5	0,0807	0,0807	0,0990	0,0990	42
4	0,0807	0,0770	0,1063	0,1027	42
3	0,0807	0,0843	0,0990	0,0953	42
2	0,0477	0,0440	0,0550	0,0550	42
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	42

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)



Gambar 7. Perbandingan simpangan antar lantai

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)

Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan antarlantai pada kedua model memiliki nilai yang relatif sama. Simpangan maksimum pada Model A terjadi pada arah Y di lantai empat sebesar 0,1063 mm, sedangkan pada Model B sebesar 0,1027 mm pada lantai yang sama. Pada beberapa lantai terjadi sedikit peningkatan simpangan, sedangkan pada lantai lainnya terjadi penurunan. Namun, selisih antara kedua model hanya berkisar 0,003–0,004 mm, sehingga tidak menunjukkan perubahan respons lateral yang signifikan.

Seluruh nilai simpangan antarlantai pada kedua model berada jauh di bawah batas izin sebesar 42 mm sesuai ketentuan SNI 1726:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Hasil pemeriksaan juga menunjukkan bahwa kedua model memenuhi persyaratan stabilitas struktur

berdasarkan evaluasi pengaruh P-Delta, sehingga penerapan balok tirus tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap simpangan antarlantai.

Perubahan simpangan yang relatif kecil mengindikasikan bahwa modifikasi geometri balok tidak memengaruhi respons lateral bangunan secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh sistem penahan gaya lateral pada kedua model yang tetap sama, yaitu sistem ganda yang terdiri atas Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang, sehingga kekakuan lateral struktur secara keseluruhan tidak mengalami perubahan yang signifikan (Badan Standardisasi Nasional, 2019; Gunawan et al., 2025).

Periode Getar Struktur

Periode getar fundamental hasil analisis pada kedua model disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Periode getar struktur

Arah	Model A, <i>T</i> (detik)	Model B, <i>T</i> (detik)
X	0,032	0,032
Y	0,038	0,038

Sumber: Hasil analisis ETABS (2026)

Hasil analisis menunjukkan bahwa periode getar fundamental pada kedua model memiliki nilai yang sama, yaitu 0,032 detik pada arah X dan 0,038 detik pada arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan geometri balok tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik dinamik struktur.

Secara teoritis, periode getar dipengaruhi oleh hubungan antara massa dan kekakuan struktur (Krist Grigorakis et al., 2022). Meskipun penggunaan balok tirus menyebabkan penurunan berat seismik efektif, sistem penahan gaya lateral pada kedua model tetap sama karena dimensi kolom dan dinding geser dibuat identik. Oleh karena itu, perubahan massa struktur tersebut belum menyebabkan perubahan periode getar yang signifikan berdasarkan hasil analisis menggunakan ETABS.

Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan berat seismik efektif akibat penerapan balok tirus tidak diikuti oleh perubahan yang berarti pada parameter respons global struktur, yaitu gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antarlantai (*interstory drift*), dan periode getar.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan balok tirus pada Gedung Poltekkes Mataram mampu meningkatkan efisiensi penggunaan material beton pada elemen balok. Modifikasi geometri penampang balok dari bentuk prismatis menjadi balok tirus menurunkan volume beton balok sebesar 111,11 m³ (13,61 %) dan mengurangi berat total struktur sebesar 2.666,64 kN (4,06 %), sementara dimensi kolom, dinding geser, dan pelat lantai tetap dipertahankan. Pengurangan berat struktur menyebabkan berkurangnya berat seismik efektif sehingga gaya geser dasar (*base shear*) menurun sebesar 3,09 % pada kedua arah pembebanan. Di sisi lain, perubahan geometri balok memengaruhi distribusi gaya dalam pada elemen balok, sedangkan gaya dalam kolom hanya

mengalami perubahan yang relatif kecil. Selain itu, simpangan antarlantai pada kedua model tetap berada jauh di bawah batas izin menurut SNI 1726:2019 dan periode getar fundamental tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan balok tirus memberikan efisiensi material serta mengurangi berat dan beban gempa struktur tanpa menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap respons global struktur yang ditinjau dalam penelitian ini. Dengan demikian, balok tirus dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif dalam perencanaan elemen balok pada bangunan bertingkat di wilayah seismik, terutama untuk meningkatkan efisiensi penggunaan material dengan tetap mempertahankan kinerja struktur berdasarkan parameter yang dianalisis. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi penerapan balok tirus pada bangunan bertingkat lebih tinggi, variasi mutu beton, atau sistem struktur yang berbeda, sehingga ruang lingkup penerapannya dapat dikaji secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Awad, M. J., & Rasheed, M. M. (2024). Shear Behaviour in Reinforced Concrete Beam (Mechanisms, Failure Modes, and Predictive Models): A Review. *Al-Rafidain Journal of Engineering Sciences*.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Jakarta, Indonesia, 2019.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Jakarta, Indonesia, 2020.
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Jakarta, Indonesia, 2019.
- Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake*

- Engineering (5th ed.)*. Pearson.
- Darwin, D., Dolan, C. W., & Nilson, A. H. D. Darwin, C. W. Dolan, and A. H. Nilson, *Design of Concrete Structures, 16th ed.* New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2020.
- Firdaus, K. F., & Suprpto. (2025). *Redesain struktur Gedung Asrama Putri empat lantai UIN Maulana Malik Ibrahim menggunakan metode SRPMK* (Vol. 3, Number 1).
- Gunawan, G. A., Lisantono, A., & Utomo, J. (2025). Effect of Location and Thickness of Cantilever Shear Walls in Asymmetrical Reinforced Concrete Multi-Storey Buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1488(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1488/1/012096>
- Hassan, B. R., & Yousif, A. R. (2024). Shear performance and strength of reinforced concrete non-prismatic beams with basalt fibre reinforced polymer rebars. *Structures*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106571>
- Imran, A. M., & Awad, M. J. (2024). Structural Efficiency of Non-Prismatic Reinforced Concrete Beams: A Comprehensive Review. *Khwarizmia*, 2024, 57–62. <https://doi.org/10.70470/khwarizmia/2024/009>
- Jasim, M. D., & Nimnim, H. T. (2023). Structural behaviour of reinforced concrete pre-stressed tapered beams. *Original Research*, 11(1), 223–238.
- Krist Grigorakis, Tadeh Zirakian, & David Boyajian. (2022). Study on the Effects of Mass and Stiffness Variations on Fundamental Periods of Structures. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 16(10). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2022.10.002>
- Laintarawan, P., & Silvi, N. P. (2024). *Perilaku Rasio Tinggi Balok Kantilever Nonprismatis Beton Bertulang*. 21(2), 145–154. <http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jirs/>
- Manubulu, C. C. (2023). Analisis Matriks Kekakuan Pada Balok Non-Prismatis Dengan Menggunakan Prinsip Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.30822/eternitas.v2i2.2443>
- Morano, M., Lin, L., Hutchinson, T., Liu, J., Williamson, E., & Pantelides, C. P. (2024). Modal characterisation of a three-story buckling-restrained braced frame steel building by non-destructive field testing. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 53(5), 1705–1726. <https://doi.org/10.1002/eqe.4077>
- Pemerintah Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, Jakarta, Indonesia, 2021.
- Petrova, G. (2026). Parametric study on the out-of-plane stability of steel tapered elements. *Annals of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy*. <https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590203>
- Pratiwi, H. F., Istiqomah, & Batubara, B. N. (2025). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa dengan Metode Pushover (Studi Kasus: Gedung Presisi 3 Mabes Polri), Teknik Sipil, vol.17. In *Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 17, Number 2).
- Suparp, S., Khan, I., Ejaz, A., Khan, K., Weesakul, U., Hussain, Q., & Saingam, P. (2023). Behaviour of non-prismatic RC beams with conventional steel and green GFRP rebars for sustainable infrastructure. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41467-w>
- Vu, H. H., & Chu, T. H. A. (2024). Simply supported built-up I-beam optimisation comparison. *E3S Web of Conferences*, 533. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453302010>