

## Perbandingan Mutu Beton terhadap Gaya Geser dan Simpangan pada Bangunan Rutan Kejati

Anak Agung Ananda Surya Ayugde Ahadina<sup>1</sup>, I Putu Ellsa Sarassantika<sup>2</sup>, I Wayan Gde Erick Triswandana<sup>3</sup>, Putu Aryastana<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa

Email: [anakagunganandasurya17@gmail.com](mailto:anakagunganandasurya17@gmail.com); [iputueellsas@gmail.com](mailto:iputueellsas@gmail.com); [ericktriswandana@gmail.com](mailto:ericktriswandana@gmail.com);  
[\\*aryastanaputu@warmadewa.ac.id](mailto:aryastanaputu@warmadewa.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji perencanaan struktur bangunan bertingkat di Indonesia, dengan fokus pada aplikasi sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dalam kondisi gempa. Indonesia, terletak di Cincin Api Pasifik, sering mengalami gempa bumi signifikan karena pergerakan tiga lempeng benua yang saling bertabrakan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa desain bangunan bertingkat memerlukan perhatian khusus terhadap dimensi dan penulangan untuk memastikan kekuatan dan stabilitas struktur. Metode perencanaan SRPMK, yang menerapkan prinsip kolom kuat balok lemah, telah dianalisis dalam berbagai studi kasus, termasuk perencanaan untuk gedung kantor, hotel, laboratorium, dan fasilitas pendidikan. Penelitian ini juga membandingkan kinerja struktur dengan menggunakan mutu beton berbeda, yaitu 41,5 Mpa dan 24,9 Mpa, pada pembangunan dinding penjara di Gedung Rutan Kejati. Melalui analisis kuantitatif dan pemodelan struktural menggunakan perangkat lunak ETABS V.20, studi ini mengidentifikasi perbedaan dalam gaya geser dasar dan simpangan antar lantai antara kedua jenis mutu beton tersebut. Hasil penelitian ini memberikan wawasan tentang efektivitas penggunaan mutu beton yang lebih tinggi dan potensi dampaknya terhadap kekuatan dan kualitas struktural bangunan. Implikasi dari penelitian ini dapat memandu praktisi dalam memilih material konstruksi yang tepat untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi biaya pada proyek-proyek bangunan bertingkat di Indonesia.

**Kata Kunci:** Mutu Beton, penulangan, struktur.

### ABSTRACT

*This study examines the planning of high-rise building structures in Indonesia, focusing on the application of Special Moment Resisting Frame (SMRF) systems under seismic conditions. Situated within the Pacific Ring of Fire, Indonesia frequently experiences significant earthquakes due to the convergence of three continental plates. Previous research indicates that the design of high-rise buildings necessitates careful attention to dimensions and reinforcement to ensure structural strength and stability. The SMRF planning method, which applies the principle of strong column weak beam, has been analyzed across various case studies, including designs for office buildings, hotels, laboratories, and educational facilities. Furthermore, this study compares the structural performance using different concrete strengths, specifically 41.5 Mpa and 24.9 Mpa, in the construction of prison walling at the Kejati Detention Center. Through quantitative analysis and structural modeling using ETABS V.20 software, this research identifies differences in base shear and inter-story drift between the two concrete strengths. The findings provide insights into the effectiveness of higher-grade concrete usage and its potential impacts on the strength and structural quality of buildings. The implications of this research can guide practitioners in selecting the appropriate construction materials to enhance performance and cost-efficiency in high-rise building projects in Indonesia.*

**Key words:** Concrete quality, Reinforcement, structure.

Submitted:	Reviewed:	Revised	Published:
26 July 2024	18 Nov 2024	21 Januari 2025	01 Agustus 2025

### PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang berada di jalur seismik paling aktif di dunia, disebabkan oleh

posisinya yang terletak di sekitar Cincin Api Pasifik (Ring of Fire). Selain itu, negara ini terletak di titik pertemuan tiga lempeng tektonik

utama: Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Ketiga lempeng tersebut saling bergerak secara relatif, dengan Lempeng Indo-Australia dan Pasifik bergerak menuju barat dan utara dibandingkan dengan Lempeng Eurasia. (Almufid & Santoso, 2021). Kondisi lingkungan, terutama gempa bumi, menuntut pemenuhan standar khusus dalam perencanaan sistem struktur yang tahan terhadap gempa. Sistem struktur yang digunakan saat ini sering kali tidak memenuhi persyaratan tersebut. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan perbandingan desain di berbagai wilayah di Indonesia, mengungkapkan bahwa dimensi dan penulangan yang diterapkan cenderung lebih besar (Prins et al., 2017; Tampubolon et al., 2022).

Dalam proses perancangan bangunan bertingkat, umumnya diterapkan sistem struktur yang dirancang secara spesifik, seperti penggunaan beton bertulang serta sistem rangka pemikul momen khusus. Sebagai contoh, analisis struktur pada pembangunan gedung rumah sakit di Kota Cirebon juga memanfaatkan sistem rangka pemikul momen khusus dalam tahapan perancangannya. (Rizki & Rohman, 2018). Dalam proses perancangan bangunan bertingkat yang tahan terhadap gempa dengan menggunakan beton bertulang, terdapat beberapa faktor krusial yang perlu diperhatikan. Faktor-faktor tersebut mencakup ketidakberaturan yang dapat terjadi baik secara horizontal maupun vertikal, penyesuaian periode getar struktur, dampak faktor gaya gempa, serta verifikasi terhadap stabilitas struktur bangunan. Penting untuk memastikan bahwa semua aspek tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam standar SNI 1726-2019. (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Perancangan ketahanan terhadap gempa pada bangunan bertingkat di Kota Manado menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) diterapkan pada perencanaan struktur untuk gedung hotel yang terdiri dari empat lantai. (Palit et al., 2016), perencanaan gedung laboratorium 3 lantai (Karishoh et al., 2018), perencanaan bangunan kantor 5 lantai (Honarto et al., 2019), Perencanaan gedung *training center* 4 lantai (Laily et al., 2019), perencanaan konstruksi parkir 4 lantai (Handono, 2020), dan perencanaan gedung kuliah 5 lantai (Liando et al., 2020). Dalam perencanaan ini, salah satu ketentuan dari SRPMK yang harus dipenuhi adalah prinsip di mana kolom harus memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan balok (strong column weak beam). Dengan kata lain, desain bangunan harus dirancang sedemikian rupa sehingga kolom memiliki kekakuan yang lebih tinggi daripada balok. Hal ini bertujuan agar kegagalan struktur

terjadi pada sendi plastis balok, sesuai dengan harapan desain. (Ente et al., 2023).

Selain merencanakan struktur bangunan bertingkat untuk menanggulangi beban gempa, penting juga untuk melakukan perencanaan berbasis kinerja khususnya untuk gedung-gedung tinggi. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pada bangunan setinggi 10 lantai, analisis pushover mengidentifikasi tingkat kinerja damage control melalui metode spektrum kapasitas ATC-40 dan level life safety menggunakan metode perpindahan FEMA-356. (Mamesah et al., 2014). Dalam perancangan bangunan bertingkat tinggi, selain mempertimbangkan beban gempa, perencanaan berbasis kinerja juga sangat penting. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa untuk bangunan dengan 10 lantai, analisis pushover mengindikasikan tingkat kinerja dalam kategori *damage control* menggunakan metode spektrum kapasitas ATC-40 dan dalam kategori life safety menggunakan metode perpindahan FEMA-356. (Saputra et al., 2020; Sarassantika & Hsu, 2022, 2023).

Pada umumnya, struktur bangunan dirancang dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus. Ketika membandingkan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dengan sistem rangka pemikul momen kaku (SRPMK), SRPMM biasanya harus menahan beban gempa yang lebih besar daripada SRPMK. Hal ini menyebabkan dimensi struktur pada SRPMM menjadi lebih besar. Sebaliknya, SRPMK memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan SRPMM. (Almufid & Santoso, 2021). Pendekatan tulangan geser lentur pada SRPMK lebih detail dari pada SRPMM (Fitrah & Melinda, 2018).

Pada rumah tahanan negara selanjutnya disebut rutan adalah tempat tersangka atau terdakwa ditahan selama proses penyidikan, penuntutan dan pemeriksaan di sidang pengadilan. (Sanusi, 2017). Pada objek penelitian ini merupakan Gedung rutan kejati, yang dibangun dengan struktur beton bertulang. Setiap lantai memiliki fungsi yang berbeda, pada lantai 1 dan 3 berfungsi sebagai kantor, dan lantai 2 berfungsi sebagai penjara. Mutu beton 24,9 Mpa digunakan pada lantai 1 dan 3, dan lantai 2 menggunakan mutu beton 41,5 Mpa karena pendekatan sistem yang digunakan di lantai 2. Beton dikelompokkan berdasarkan kekuatan tekannya.

Pada pembangunan jembatan Wonokerto Demak melakukan percepatan penggerjaan pada proyek tersebut sehingga yang awalnya menggunakan mutu 30 Mpa menjadi mutu 40 Mpa untuk mengejar penyelesaian pekerjaan pada beton proyek jembatan Wonokerto – Demak. Apakah pada pembangunan dinding gedung penjara Rutan

Kejati menggunakan mutu beton 41,5 Mpa untuk mempercepat pekerjaan dibandingkan dengan menggunakan mutu beton 24,9 Mpa? Apakah penggunaan mutu beton 24,9 Mpa tidak memenuhi dari segi kekuatan terhadap penulangan?

Penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui bahwa penggunaan mutu beton 41,5 Mpa lebih efektif dibandingkan 24,9 Mpa dan untuk mengetahui apakah dengan menggunakan mutu beton 24,9 Mpa dapat mempengaruhi kekuatan yang signifikan.

Kegunaan yang dapat diperoleh dari penelitian ini untuk mengetahui bahwa dengan menggunakan mutu beton 24,9 Mpa sudah cukup dan bisa digunakan untuk perencanaan dinding penjara sehingga tidak mengurangi kualitas dari perencanaan awal.

Manfaat penelitian ini berguna untuk mengetahui bahwa dengan mutu 24,9 Mpa sudah cukup merencanakan sebuah dinding penjara agar lebih ekonomis.

## METODE PENELITIAN

### Objek lokasi penelitian

Objek lokasi perencanaan bangunan rutan kejati yang dilakukan penulis terletak di kejaksaan tinggi bali, Jl. Tantular No.5, Renon, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali.



Gambar 1. Lokasi perencanaan

### Skema perencanaan

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang dimana menganalisis dan melakukan komparasi kinerja struktur eksisting dengan struktur modifikasi berupa perubahan mutu beton terhadap dinding penjara. Komparasi kinerja struktur ini berupa gaya geser dasar dan simpangan antar lantai. Pemodelan yang dikomparasi terdiri dari pemodelan struktur

eksisting dengan mutu beton 41,5 Mpa dan pemodelan struktur modifikasi dengan perubahan mutu beton 24,9 Mpa.

### Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Perencanaan dilakukan dengan mengumpulkan data yang dijadikan acuan yaitu berupa data sekunder. Data yang dikumpulkan berupa gambar arsitektur, gambar struktur dan data laporan pengujian tanah. Perencanaan juga harus memperhatikan peraturan yang berlaku di Indonesia, seperti yang tercantum dalam SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (BSN, 1726:2019), SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (BSN, 2847:2019), serta SNI 1727:2020 yang menetapkan Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Selain itu, literatur yang relevan juga perlu dipertimbangkan.(BSN, 1727:2020).

### Data Perencanaan Gedung Rutan Kejati

#### 1. Data Eksisting

- a. Fungsi Bangunan : Kantor dan Penjara
- b. Jumlah Lantai : 3 Lantai
- c. Tinggi Bangunan :
- d. Luas Bangunan :

#### 2. Data Spesifikasi Bahan

##### Mutu material beton

- a. Kolom :  $f'_c$  24,5 MPa
- b. Balok :  $f'_c$  24,5 MPa
- c. Pelat :  $f'_c$  24,5 MPa
- d. Pondasi :  $f'_c$  24,5 MPa

##### e. Tulangan pada dinding Penjara : $f'_c$ 24,5

##### Mutu material baja tulangan

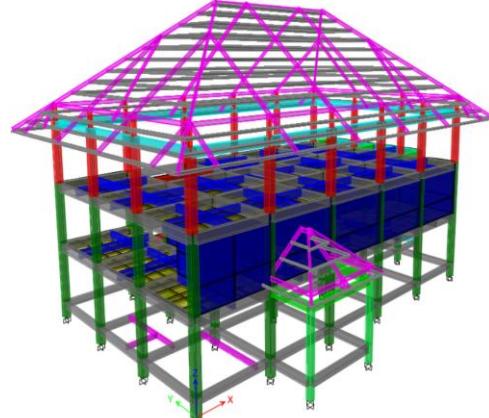
- a. BJTS :  $f_y$  420 Mpa

- b. BJTP :  $f_y$  280 Mpa

##### Mutu material baja stuctural

- BJ37 :  $f_y$  240 Mpa dan  $f_u$  370.

#### 3. Data Gambar



Gambar 2. Pemodelan Struktur

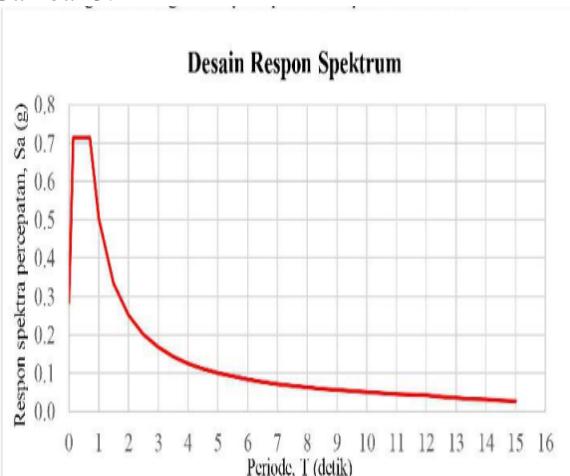
**Tabel 1.** Penampang PE dan PM

Penampang	Kode	Dimensi (mm)
Gording	C	125 x 50 x 20 x 3,2
Kuda-Kuda	IWF	200 x 100 x 5,5 x 8
Kolom Leher Atap	HB	200 x 200 x 7 x 11
Balok	B1	250 x 500
	B2	200 x 400
	B3	250 x 400
	B4	250 x 450
	B5	200 x 450
Kolom	K1	400 x 400
	K2	300 x 300
	K3	200 x 400
Sloof	S1	250 x 400
	S2	200 x 350
	S3	150 x 250

Data di atas merupakan penampang yang digunakan pada Pemodelan Eksisting (PE). Pada pemodelan modifikasi (PM), dipergunakan penampang yang sama dikarenakan untuk mencari perbandingan dari mutu yang berbeda tapi penampang yang sama.

### Perhitungan Pembebanan

Perhitungan beban yang bekerja baik beban mati tambahan, beban hidup, beban air hujan dan beban angin pada struktur Rutan Kejati berdasarkan (SNI 1727:2020) serta beban gempa berdasarkan (SNI 1726:2019). Sesuai letak dari Gedung Rutan Kejati pada daerah Denpasar maka dilakukan perhitungan beban gempa dengan kelas situs tanah sedang. Hasil diagaram respon spektrum seperti Gambar 3.



**Gambar 3.** Respon Spektrum Tanah Sedang Rutan Kejati

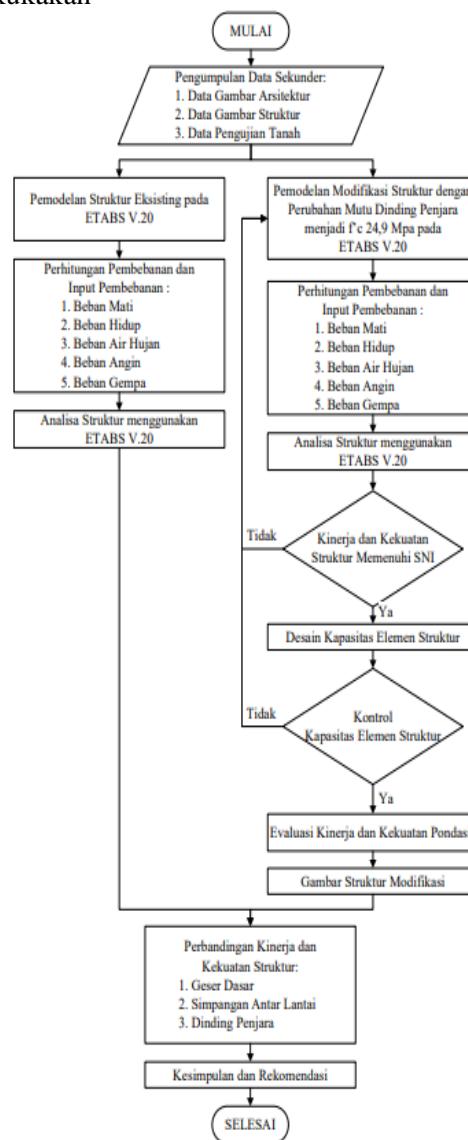
### Analisa Struktur

Struktur Gedung dimodelkan secara 3 dimensi dengan bantuan *software ETABS V.20*. Pemodelan

yang dibuat seperti Gambar 2. Kemudian dilakukan *input* beban pada pemodelan tersebut. Hasil analisa struktur kemudian dikontrol berdasarkan syarat bangunan tahan gempa SNI 1726:2019 agar pemodelan yang direncanakan memenuhi kelayakan sistem struktur. Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, penting untuk melakukan analisis guna menentukan frekuensi getar alami struktur. Analisis tersebut harus mencakup jumlah mode yang cukup untuk memastikan bahwa partisipasi massa dari mode yang terkombinasi mencapai paling sedikit 90% dari massa struktur (SNI, 1726:2019). Gaya geser dasar yang disebabkan oleh gempa dipengaruhi oleh berat efektif struktur, yang menurut SNI 1726:2019 pasal 7.7.2 meliputi seluruh beban mati, beban operasional dari peralatan tetap, serta beban lainnya. (SNI, 1726:2019).

### Bagan alir penelitian

Berikut merupakan flowchart dari penelitian yang dilakukan



**Gambar 4.** Flowchart penelitian

Tahapan ini dimulai dari mengumpulkan data, kemudian melakukan pemodelan menggunakan *software ETABS*. Setelah dilakukannya pemodelan, selanjutnya melakukan analisis pembebanan yang mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Kemudian melakukan penginputan beban. Selanjutnya melakukan *run analysis* dan mencari *output gaya* dalam dan menganalisis simpangan serta menghitung elemen struktur.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Analisa kinerja struktur Rutan Kejati berupa Jumlah ragam pemodelan, setelah memenuhi syarat maka menentukan berat seismik dari struktur tersebut. Gaya geser dasar akibat beban gempa respon spektrum (beban gempa dinamis) yang dipengaruhi oleh berat seismik tersebut dibandingkan dengan gaya geser dasar akibat beban gempa statis, sehingga akan menghasilkan deformasi pada tiap lantai.

### **Jumlah Ragam**

Hasil analisa partisipasi massa model PE untuk mencapai syarat minimum terlihat seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Partisipasi Massa Model PE

Case	Mode	Period sec	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	1	0,391	55,21%	7,48%	0,00%
Modal	2	0,373	61,81%	85,36%	0,00%
Modal	3	0,304	72,84%	85,68%	0,00%
Modal	4	0,281	87,69%	85,70%	0,00%
Modal	5	0,249	87,69%	87,88%	0,00%
Modal	6	0,201	87,78%	87,89%	0,00%
Modal	7	0,177	87,78%	87,92%	0,00%
Modal	8	0,167	87,78%	88,05%	0,00%
Modal	9	0,162	87,78%	88,16%	0,00%
Modal	10	0,152	87,98%	88,16%	0,00%
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Modal	49	0,031	90,40%	91,43%	0,00%

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa struktur. Dari hasil analisis menggunakan *ETABS V.20* pada Tabel 2, untuk mencapai nilai minimum partisipasi massa struktur diperoleh pada modal ke-49 dimana sudah mencapai 90,40 % (SumUX) dan 91,43 % (SumUY) untuk memenuhi syarat jumlah ragam

yang cakup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi.

Hasil analisa partisipasi massa model PM untuk mencapai syarat minimum terlihat seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Partisipasi Massa Model PM

Case	Mode	Period sec	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	1	0,391	55,14%	7,53%	0,00%
Modal	2	0,374	61,75%	85,33%	0,00%
Modal	3	0,304	73,05%	85,64%	0,00%
Modal	4	0,282	87,67%	85,65%	0,00%
Modal	5	0,249	87,67%	87,86%	0,00%
Modal	6	0,201	87,77%	87,87%	0,00%
Modal	7	0,177	87,77%	87,90%	0,00%
Modal	8	0,167	87,77%	88,04%	0,00%
Modal	9	0,162	87,77%	88,14%	0,00%
Modal	10	0,152	87,97%	88,14%	0,00%
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Modal	50	0,031	90,80%	91,40%	0,00%

Dari hasil analisis menggunakan *ETABS V.20* pada Tabel 3 diperlihatkan bahwa untuk mencapai nilai minimum partisipasi massa struktur diperoleh pada modal ke-49 dimana sudah mencapai 90,80 % (SumUX) dan 91,40 % (SumUY) untuk memenuhi syarat jumlah ragam yang cakup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi.

### **Berat Seismik Efektif**

Berat seismik efektif struktur untuk seluruh pemodelan seperti pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Berat Seismik Efektif Struktur

Lantai ke-	Berat (kg)	
	Model PE	Model PM
3	536591,16	536591,16
2	412513,06	412513,06
1	165900,02	165900,02
Berat Seismik Efektif	<b>1115004,24</b>	<b>1115004,24</b>

Dari hasil analisis menggunakan *ETABS V.20* pada Tabel 4, bahwa untuk berat Seismik yang terjadi pada model PE dan model PM memiliki berat yang sama yang menandakan bahwa perbedaan mutu beton 24,9 Mpa dan 41,5 Mpa tidak mempengaruhi berat seismik.

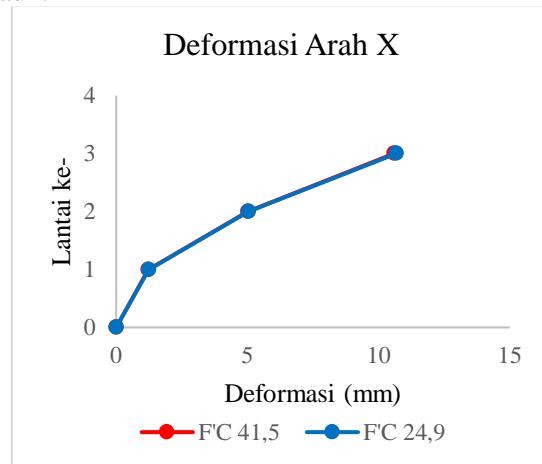
### **Deformasi Struktur**

Hasil deformasi arah-x seluruh model seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Deformasi ke Arah Sumbu x

Lantai ke-	Arah X (mm)	
	Model PE	Model PM
3	30,646	30,971
2	20,889	21,005
1	6,749	6,776

Untuk Diagram perbandingan deformasi seluruh model seperti pada Gambar 6. yang terlihat perbandingan antar kedua mutu 24,9 Mpa dan 41,5 Mpa tidak telihat jauh berbeda yang dimana perbedaan itu tidak signifikan kurang dari = 1. Dari hasil grafik yang ditunjukan dan pada tabel juga terlihat perbedaan angka yang tidak begitu jauh.

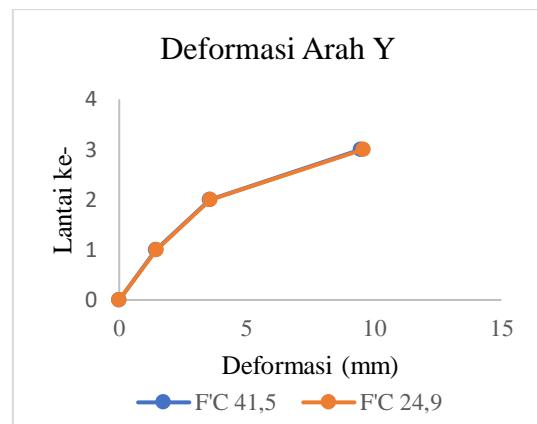
**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Deformasi ke Sb-x

Hasil deformasi struktur arah-y seluruh model seperti pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Deformasi ke Arah Sumbu y

Lantai ke-	Arah X (mm)	
	Model PE	Model PM
3	32,577	33,077
2	11,616	11,666
1	7,948	7,959

Untuk Diagram perbandingan deformasi seluruh model seperti pada Gambar 7. yang terlihat perbandingan antar kedua mutu 24,9 Mpa dan 41,5 Mpa tidak telihat jauh berbeda yang dimana perbedaan itu tidak signifikan kurang dari = 1. Dari hasil grafik yang ditunjukan dan pada tabel juga terlihat perbedaan angka yang tidak begitu jauh.

**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Deformasi ke Sumbu y

### Komparasi Kinerja Struktur

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 untuk seluruh model sudah memenuhi syarat ragam getar alami untuk struktur, jumlah ragam untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sudah di atas 90% dari massa struktur.

Untuk berat seismik efektif terlihat pada Tabel 4, model PM memiliki berat yang sama dengan PE dikarenakan hanya mengubah mutu beton 41,5 Mpa menjadi 24,9 MPa.

Deformasi yang terjadi ke arah sumbu x pada lantai 2 untuk model PE sebesar 20,889 mm dan pada model PM sebesar 21,005 mm. Untuk ke arah sumbu y deformasi pada lantai 2 untuk model PE sebesar 11,616 mm dan pada model PM sebesar 11,666 mm. Berdasarkan regulasi yang berlaku, seperti SNI 2847:2019, deformasi tersebut masih berada dalam batas aman untuk struktur beton bertulang pada kondisi yang dianalisis. Batas aman deformasi adalah 72 mm, dapat dihitung dengan simpangan ijin 2% dikali dengan ketinggian antar lantai (3,6 meter).

### KESIMPULAN

Pada penelitian ini terjawab bahwa pengaruh perbedaan mutu pada dinding beton penjara terhadap kekuatan dapat dilihat pada hasil deformasi baik arah-x maupun arah-y. Untuk mutu yang lebih rendah (24,9 Mpa) menghasilkan deformasi yang lebih besar dibandingkan mutu yang lebih tinggi (41,5 Mpa) dengan ditandai deformasi arah-x untuk PM sebesar 30,971 mm lebih besar daripada PE 30,646 mm. Serta untuk arah-y PM sebesar 33,077 mm lebih besar daripada PE 32,577 mm. Berdasarkan regulasi yang berlaku, seperti SNI 2847:2019 atau standar sejenis, deformasi tersebut masih berada dalam batas aman untuk struktur beton bertulang.

Dalam rekomendasi rekayasa nilai, untuk meningkatkan efisiensi biaya tanpa mengurangi keamanan struktur, beberapa strategi dapat dipertimbangkan:

1. Optimalisasi Mutu Material:

Gunakan mutu beton sedang (misalnya, 30 MPa), yang mungkin cukup aman dengan deformasi dalam batas regulasi. Hal ini mengurangi kebutuhan material berkualitas tinggi (41,5 MPa) sehingga dapat menekan biaya produksi.

2. Penyesuaian Dimensi Struktur:

Dalam perspektif perilaku struktur, dimensi elemen dinding dapat ditingkatkan sedikit untuk mengimbangi penurunan mutu beton jika material dengan kualitas lebih rendah digunakan. Misalnya, meningkatkan ketebalan dinding untuk meningkatkan kekuatan struktural.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almufid, A., & Santoso, E. (2021). Struktur SRPMK dan SRPMM pada Bangunan Tinggi (Structure of SRMK and SRMM on High Building). *Jurnal Teknik*, 10(1), 24–34.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31000/jt.v10i1.4025>
- Arjakoni, A. F., & Lutfi, M. (2022). Evaluasi Kinerja Seismik Pada Struktur Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan Metode Analisis Pushover Berdasarkan ATC 40. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 4(2), 67–73.  
<https://doi.org/10.32832/komposit.v4i2.3764>
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. In *Sni 1727-2013* (p. 196).
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Standar Nasional Indonesia SNI 1726-2019 Tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Ente, A. A. G., Sumajouw, M. D. J., & Wallah, S. E. (2023). Studi Komparasi Kinerja Gedung Bertingkat Sistem Ganda Rangka Pemikul Momen Khusus Dan Menengah Di Kota Manado. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 53–65.  
<https://doi.org/10.22225/pd.12.1.6134.53-65>
- Fitrah, R. A., & Melinda, A. P. (2018). Studi Komparasi Detailing Desain Komponen Lentur Struktur Beton Bertulang SRPMK dan SRPMM. *Rang Teknik Journal*, 1(2), 250–259.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.31869/rtj.v1i2.251-258>
- Handayani, J., Lutfi, M., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2019). Studi Pengaruh Temperatur Beton Massa pada Raft Foundation Ketebalan 3 Meter (Studi Kasus: Proyek MCC Tower - Jakarta). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 3(1), 20–22.  
<https://doi.org/10.32832/komposit.v3i1.3743>
- Honarto, R. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. (2019). Perencanaan Bangunan Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 201–208.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/22026>
- Karisoh, P. H., Dupas, S. O., & Pandaleke, R. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). *Jurnal Sipil Statik*, 6(6), 361–372.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/19859>
- Laily, R., Sumajouw, M. D. J., & Wallah, S. E. (2019). Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai Di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1095–1106.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/24514>
- Liando, F. J., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2020). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 471–482.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/29894>
- Lutfi, M., Rulhendri, R., & Salam, R. A. M. Q. (2022). Studi Perencanaan Gedung Parkir Sepeda Motor di Area Fakultas Teknik Dan Sains Universitas Ibn Khaldun Bogor. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 4(1), 19–26.  
<https://doi.org/10.32832/komposit.v4i1.3749>
- Missi, R. S. P. J., Handono, B. D., & Sumajouw, M. D. J. (2020). Perencanaan Konstruksi Beton Bertulang untuk Gedung Parkir. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), 383–394.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/29494>
- Palit, C. M., Pangouw, J. D., & Pandaleke, R. (2016). Perencanaan Struktur Gedung Hotel Jalan Martadinata Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(4), 263–270.
- Prins, M. I., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2017).

- Studi Komparasi Disain Struktur Bangunan Bertingkat akibat Gempa pada 5 Kota Di Indonesia. *Jurnal Sipil Statik*, 5(7), 411–423.
- Rizki, F., & Rohman, F. (2018). Analisis Struktur Ruang Rawat Inap Kelas III Prabu Siliwangi RSUD Gunung Jati Kota Cirebon. *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur: Teknik Sipil dan Perencanaan*, 7(2), 2085–8744. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33603/jk.i.v7i2.3890>
- Sanusi, A. (2017). Pelaksanaan Fungsi Cabang Rumah Tahanan Negara di Luar Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia. *Jurnal Ilmiah Kebijakan Hukum*, 10(2), 18. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30641/kebijakan.2016.V10.117-129>
- Saputra, M. R., Handono, B. D., & Mondoringin, M. R. I. A. J. (2020). Evaluasi Kinerja Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi akibat Beban Gempa. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5), 679–686.
- Sarassantika, I. P. E., & Hsu, H. L. (2022). Improving brace member seismic performance with amplified-deformation lever-armed dampers. *Journal of Constructional Steel Research*, 192, 107221. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107221>
- Sarassantika, I. P. E., & Hsu, H. L. (2023). Upgrading framed structure seismic performance using steel Lever-Armed dampers in the Braces. *Engineering Structures*, 280(January), 115683. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115683>
- Tampubolon, S. P., Sarassantika, I. P. E., & Suarjana, I. W. G. (2022). Analisis Kerusakan Struktur Bangunan dan Manajemen Bencana Akibat Gempa Bumi, Tsunami, dan Likuifaksi di Palu. *Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 10(2), 169–186. <https://doi.org/10.33558/bentang.v10i2.3263>