

PERBANDINGAN EVALUASI KINERJA BANGUNAN GEDUNG TAHAN GEMPA YANG DIDESAIN DENGAN METODE SRPMM & SRPMK BERDASARKAN SNI 1726:2019

(Studi Kasus Gedung RSUD Rawat Inap Pandanarang Boyolali, Jawa Tengah)

Mochamad Solikin¹, Rama Pratama Balich²

¹ Dosen Magister Teknik Sipil-Teknik-Universitas Muhammadiyah Surakarta ,
Jl. A. Yani No. 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102

² Magister Teknik Sipil-Teknik-Universitas Muhammadiyah Surakarta,
Jl. A. Yani No. 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102
email: ramapratamabalich19@gmail.com

Abstrak

Terdapat tiga sistem rangka pemikul momen yang dimanfaatkan pada desain bangunan beton bertulang tahan gempa, yaitu sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Dua dari tiga sistem rangka pemikul momen yang disebutkan di atas-sistem rangka pemikul momen menengah, atau SRPMM, dan sistem rangka pemikul momen khusus, atau SRPMK-akan ditinjau dalam studi ini karena adanya variasi nilai faktor gaya sistem gempa, yang meliputi faktor pembesaran lendutan, koefisien modifikasi respons, dan faktor kekuatan belah sistem. Perbandingan seperti ini sangat diperlukan pada struktur berisiko tinggi seperti rumah sakit di kabupaten Boyolali. Perbandingan Kedua sistem tersebut akan diteliti dengan mengevaluasi dimensi & jumlah tulangan, daktilitas dengan analisis gempa pushover, displacement, kinerja struktur, dan kriteria struktur menurut ATC-40 menggunakan analisis gempa metode pushover dan respon spektrum. Hasil perbandingan dari kedua sistem rangka pemikul momen diatas menunjukkan, dimensi dan jumlah tulangan balok dan kolom SRPMM lebih besar dari SRPMK. Dimensi balok terbesar SRPMM adalah 65x85 cm dengan tulangan atas 18D19 mm, tulangan bawah 10D19 mm sedangkan dimensi balok terbesar SRPMK adalah 40x60 cm dengan tulangan atas 8D19 mm, tulangan bawah 5D19 mm. Selanjutnya dimensi terbesar kolom SRPMM adalah 70x70 cm dengan jumlah tulangan 32D22 mm sedangkan dimensi kolom SRPMK adalah 60x60 cm dengan tulangan 28D22 mm. Perbedaan dimensi dan jumlah tulangan ini mengakibatkan SRPMM memiliki kekakuan yang lebih besar dan pada SRPMK. Seperti yang ditunjukkan oleh pemenuhan persyaratan desain dan kinerja pada titik kinerja di bawah kondisi hunian langsung, kedua sistem rangka pemikul momen ini tetap dapat memberikan kinerja yang baik meskipun terdapat perbedaan ukuran dan jumlah tulangan.

Kata kunci: SRPMM; SRPMK; Daktilitas; Analisis Pushover; ATC-40.

Pendahuluan

Sebagai negara yang sedang berkembang, Indonesia saat ini sedang melakukan pembangunan di berbagai bidang, khususnya konstruksi. Mengingat Indonesia terletak di sepanjang jalur gempa tektonik yang cukup parah, pengaruh gempa harus dipertimbangkan dalam pembangunan, terutama ketika membangun gedung bertingkat (A. Almufid & Hidayah, 2019; Navalgund, 2022; Rupidara dkk., 2022; Tampubolon dkk., 2022). Perubahan mendadak pada patahan tektonik, yang selalu bergerak dengan kekuatan mulai dari yang sangat kecil hingga yang sangat besar, inilah yang menyebabkan gempa bumi tektonik. Untuk menjamin kekuatan dan kestabilan bangunan agar bisa berguna dan layak pakai, maka perencanaan (desain) struktur bangunan menjadi hal yang krusial.

Pada bangunan dengan kategori risiko tinggi seperti bangunan rumah sakit, Struktur gedung menjadi salah satu konstruksi yang sangat penting dalam perencanaan sehingga harus direncanakan sedemikian rupa agar menjadi prasarana yang kuat, aman, dan ekonomis (Dwiyanti et al., 2020; ; Roshaunda & Setiawan, 2020; Iskandar, 2021). Rumah sakit merupakan institusi kesehatan yang bentuk denahnya sebisa mungkin semetris guna meminimalisasi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa. Dengan kata lain, seorang perencana juga harus merancang sebuah bangunan yang mampu menahan reaksi inelastis dari elemen-elemen strukturnya.

Ketika mendesain bangunan tahan gempa, diantisipasi agar struktur bisa membendung beban yang diberikan oleh gempa dan tetap berfungsi sebagaimana mestinya. Beberapa sistem, antara lain Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dapat digunakan dalam perencanaan gedung tahan gempa yang tepat dengan situasi di Indonesia (Irianti & Karlinah, 2021). Faktor modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, dan faktor pembesaran lendutan sistem rangka pemikul momen menengah dan khusus ini bervariasi (2019, SNI 1726).

Mengingat adanya perbedaan dalam nilai faktor untuk sistem pemikul gaya seismik dari ketiga sistem diatas, maka perlu dibandingkan hasil perencanaan dimensi dan jumlah tulangan. Perbandingan tersebut terutama diperlukan untuk SRPMM dan SRPMK karena merupakan sistem rangka pemikul momen yang paling banyak digunakan. Meskipun terdapat perbedaan hasil akhir dimensi dan jumlah tulangan antara SRPMM & SRPMK namun kriteria ketahanan gempa dari kedua sistem rangka pemikul momen tersebut harus dalam batas yang diijinkan. Penilaian kriteria sistem rangka pemikul momen terdiri atas daktilitas dengan analisis gempa pushover, displacement, kinerja struktur, dan kriteria struktur menurut ATC-40.

Evaluasi kinerja struktur gedung dilakukan untuk menentukan keamanan dari gedung ketika terjadi gempa rencana. Ada dua komponen dalam kinerja struktur: batas ultimit dan batas layan. Deviasi antar tingkat yang disebabkan oleh efek gempa rencana menentukan kinerja batas layan struktur bangunan, yang membatasi kemungkinan pelelehan baja yang berlebihan dan keretakan beton, selain mencegah kerusakan nonstruktural dan ketidaknyamanan penghuni. Untuk mengurangi risiko runtuhnya struktur bangunan dan menyebabkan kerusakan, serta untuk mencegah tabrakan berbahaya antar bangunan atau bagian struktur yang terpisah, kinerja batas ultimit bangunan ditetapkan dengan menilai simpangan antar tingkat maksimum yang disebabkan oleh dampak gempa. Evaluasi ini dilakukan dalam kondisi struktur bangunan berada di ambang keruntuhan.

Dari hasil struktur bangunan ini bisa ditentukan kriteria struktur bangunan. Kriteria struktur bangunan dapat ditinjau menggunakan Applied Technology Council (ATC)-40. Kriteria bangunan ini berbeda-beda dari kerusakan yang ringan sampai kerusakan yang berat. Ada 4 kriteria struktur tahan gempa yaitu Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), Collapse Prevention (CP), Structural Stability.

Penelitian sejenis yang membandingkan kinerja SRPMM dan SRPMK dengan menggunakan SNI 03-1726 2002 sudah pernah dilakukan pada tahun 2014 oleh Yuyun tajunnisa dengan mengidentifikasi struktur bangunan tiga lantai. Kinerja struktur didasarkan pada FEMA (Federation Emergency Management Agency) 273/356, dan aplikasi yang digunakan adalah SAP 2000. Tujuannya adalah untuk membandingkan tingkat tulangan, perpindahan, daktilitas, dan kinerja struktur saat terjadi gempa (Tajunnisa et al., 2014).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini menggunakan SRPMM dan SRPMK berdasarkan SNI 1726:2019 untuk menilai tulangan, perpindahan, daktilitas, dan kinerja struktur terhadap ketahanan Gedung Rumah Sakit PANDANARANG di Boyolali. Temuan penelitian di atas, yang didasarkan pada SNI 1726:2019, digunakan untuk menetapkan persyaratan struktur gedung bertingkat dengan menggunakan perangkat lunak ETABS.

Metode Penelitian

1. Data & Sumber Data

Sampel yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber data pada penelitian Gedung Rumah Sakit Umum Pandanarang di Boyolali ini sebagai berikut :

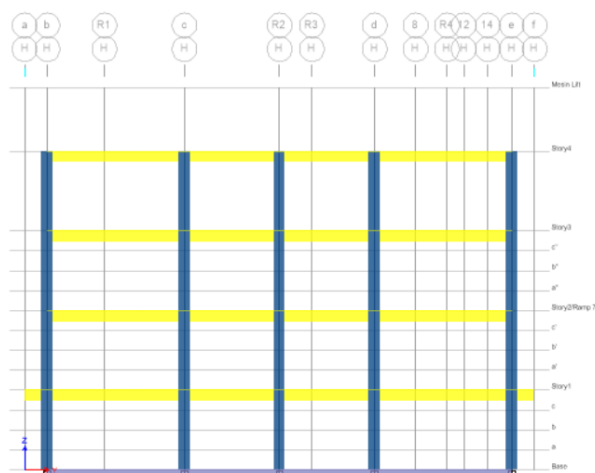
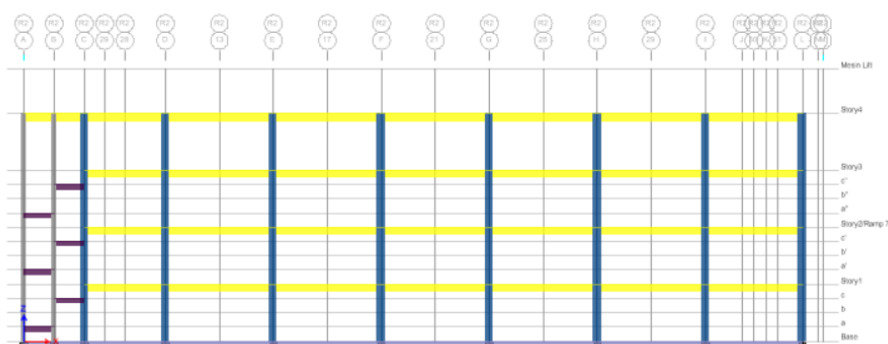
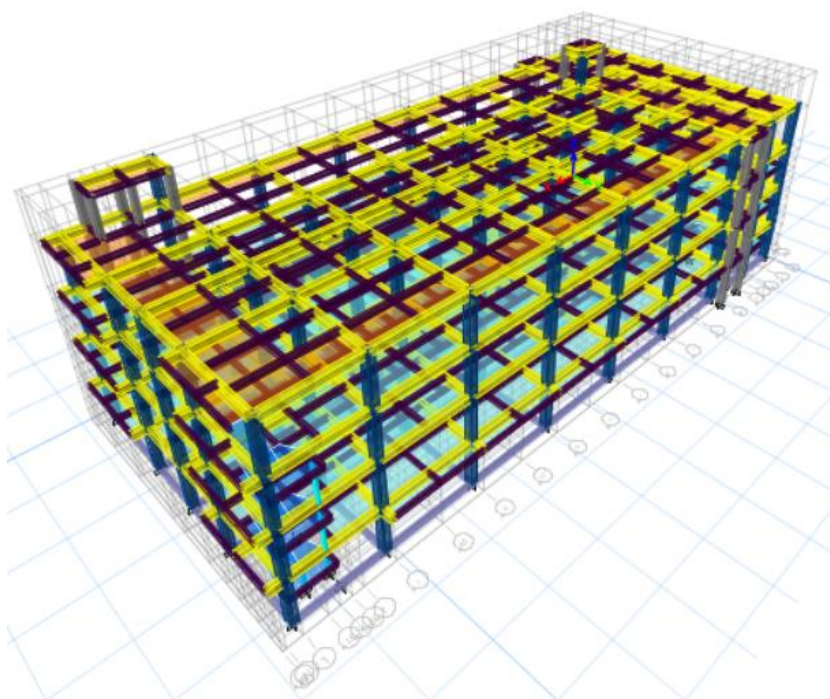
- A. Data Sondir Tanah (DST) (laporan PT widya prima utama)
- B. Laporan Perhitungan Struktur (pedoman SNI 1726-2019 dan buku dasar perencanaan portal daktail dari Ir.Ali Asroni,M.T)
- C. Puskim Cipta Karya (website puskim PUPR)

2. Tahapan Evaluasi

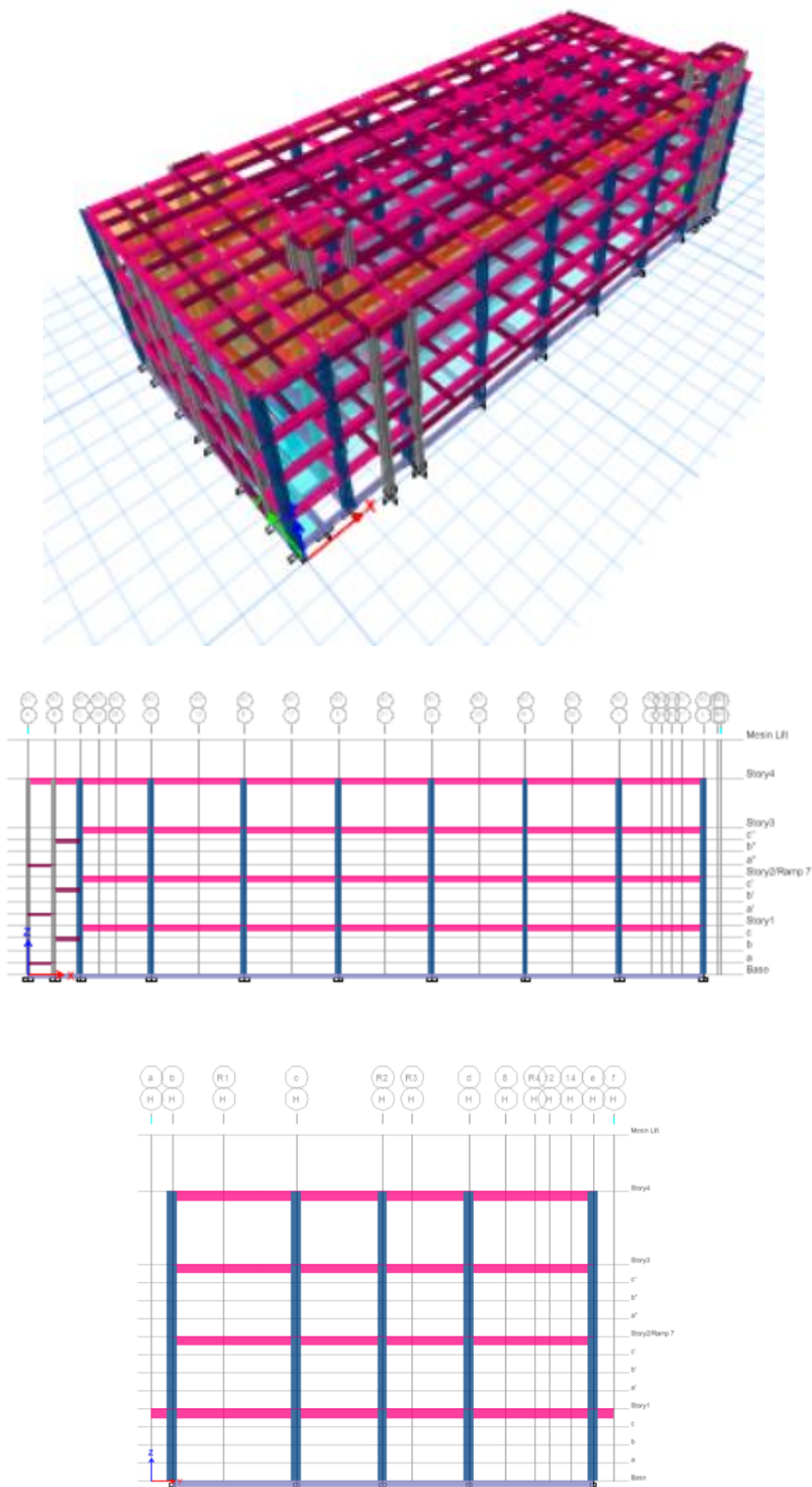
Penelitian ini dimulai dengan persiapan penelitian terdiri atas persiapan alat dan bahan yang akan dimanfaatkan dalam penelitian. Setelah itu, pemodelan desain awal bangunan, input pembebanan struktur, dan input beban gempa di dua model struktur SRPMK & SRPMM. Lalu membandingkan kontrol kapasitas keamanan antara kedua metode sistem rangka pemikul momen. Ketika sudah aman dan frame tidak mengalami oveestress, kemudia dia analisis dengan perbandingan keseluruhan dari data jumlah tulangan, daktilitas, displacement dan kinerja struktur bangunan.

3. Pemodelan & Asumsi Perencanaan Struktur

Pemodelan struktur bertujuan untuk desain awal akan letak dan dimensi elemen-elemen struktur. Untuk setiap kolom dan balok dengan sistem rangka pemikul momen yang unik dan sistem rangka pemikul momen menengah, pemodelan ini menggunakan program ETABS tiga dimensi.



Gambar 1. Pemodelan Gedung RSUD Rawat Inap Pandanarang Boyolali (SRPMK)



Gambar 2. Pemodelan Gedung RSUD Rawat Inap Pandanarang Boyolali (SRPMM)

Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Perencanaan Balok dan Kolom

a. Perhitungan Balok

Perhitungan balok ini bertujuan untuk mengetahui jumlah tulangan yang terdapat pada dimensi balok. Peninjauan perhitungan balok dilakukan berdasarkan momen dan gaya geser yang dialami balok. Tabel di bawah ini menampilkan hasil perhitungan balok SRPMK & SRPMM:

Tabel 1. Konfigurasi Dimensi dan Tulangan Balok

| Tipe Balok | Metode | Dimensi | | tumpuan (mm) | | lapangan (mm) | | tulangan Pinggang (mm) | Senggang (mm) | |
|------------|--------|---------|-----|--------------|-------|---------------|-------|------------------------|---------------|----------|
| | | (mm) | | atas | bawah | atas | bawah | | tumpuan | lapangan |
| B1 | SRPMK | 400 | 600 | 8D19 | 5D19 | 5D19 | 8D19 | 4D19 | Ø10-100 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 650 | 850 | 18D19 | 10D19 | 10D19 | 18D19 | 4D19 | Ø10-200 | Ø10-250 |
| B2 | SRPMK | 200 | 400 | 4D19 | 2D19 | 2D19 | 4D19 | 2D10 | Ø10-100 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 450 | 750 | 8D19 | 6D19 | 6D19 | 8D19 | 4D19 | Ø10-200 | Ø10-250 |
| B3 | SRPMK | 200 | 400 | 4D19 | 2D19 | 2D19 | 4D19 | 2D10 | Ø10-100 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 450 | 750 | 8D19 | 6D19 | 6D19 | 8D19 | 4D19 | Ø10-200 | Ø10-250 |
| BA | SRPMK | 200 | 400 | 4D19 | 2D19 | 2D19 | 4D19 | 2D10 | Ø10-100 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 450 | 750 | 8D19 | 6D19 | 6D19 | 8D19 | 4D19 | Ø10-200 | Ø10-250 |
| Tie beam | SRPMK | 300 | 400 | 5D19 | 3D19 | 3D19 | 5D19 | - | Ø10-100 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 300 | 400 | 5D19 | 3D19 | 3D19 | 5D19 | - | Ø10-200 | Ø10-250 |

(Sumber : Data Penelitian)

Seperti yang bisa diamati dari tabel tersebut, faktor modifikasi respons, koefisien modifikasi respons, nilai faktor kekuatan belah sistem, dan faktor pembesaran lendutan dari faktor sistem gaya sesimik berbeda, sehingga menghasilkan dimensi yang lebih besar dan lebih banyak tulangan untuk balok SRPMM dibandingkan dengan balok SRPMK.

b. Perhitungan Kolom

Tujuan dari perhitungan kolom ini adalah untuk memastikan berapa banyak tulangan yang ada pada dimensi kolom. Gaya aksial, momen, dan gaya geser yang terbentuk pada kolom ditinjau untuk meninjau perhitungan kolom. Tabel di bawah ini menampilkan hasil perhitungan kolom SRPMK & SRPMM:

Tabel 2. Konfigurasi Dimensi dan Tulangan Kolom

| Tipe Kolom | Metode | Dimensi | | Tulangan | Senggang |
|------------|--------|---------|-----|----------|----------|
| | | (mm) | | | |
| K1 | SRPMK | 600 | 600 | 28D22 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 700 | 700 | 32D22 | Ø10-200 |
| K2 | SRPMK | 500 | 500 | 16D22 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 650 | 650 | 30D22 | Ø10-200 |
| K3 | SRPMK | 400 | 400 | 12D22 | Ø10-150 |
| | SRPMM | 600 | 600 | 28D22 | Ø10-200 |
| K4 | SRPMK | 150 | 300 | 10D13 | Ø8-150 |
| | SRPMM | 150 | 300 | 10D13 | Ø8-150 |

(Sumber : Data Penelitian)

Dari tabel diatas, dimensi dan jumlah tulangan kolom SRPMM lebih besar dari kolom SRPMK akibat dari adanya perbedaan nilai faktor sistem gaya seismik yaitu koefisien modifikasi respon, nilai faktor kuat belah sistem dan faktor pembesaran defleksi. Nilai SRPMM adalah $R = 5$, $\Omega_0 = 3$, $C_d = 4,5$ sedangkan nilai SRPMK adalah $R = 8$, $\Omega_0 = 3$, $C_d = 5,5$. Oleh karena itu kekakuan struktur SRPMM lebih besar dari struktur SRPMK.

2. Daktilitas & Pushover Analysis

Pada struktur, sendi plastis akibat momen lentur muncul ketika beban yang bekerja melampaui kapasitas momen lentur yang dimonitor. Terjadinya mekanisme level dilarang dalam desain struktur yang menggunakan daktilitas parsial dan daktilitas penuh, mengikuti pendekatan perencanaan kolom kuat balok lemah. Hasil tambahan dari analisis beban dorong, khususnya distribusi terjadinya sendi plastis, dirinci dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3. Distribusi Sendi Plastis Pushover X

| Metode | Step | Displacement | Base Force | A-IO | IO-LS | >CP | Total Hinges |
|--------|------|--------------|------------|------|-------|-----|--------------|
| | | (mm) | (kN) | | | | |
| SRPMK | 0 | 0 | 0 | 3252 | 0 | 0 | 3252 |
| SRPMM | 0 | 0 | 0 | 3236 | 0 | 0 | 3236 |
| SRPMK | 1 | 23,576 | 6793,9399 | 3252 | 0 | 0 | 3252 |
| SRPMM | 1 | 0,182 | 237,8918 | 3236 | 0 | 0 | 3236 |
| SRPMK | 2 | 58,128 | 15767,3286 | 3242 | 8 | 2 | 3252 |
| SRPMM | 2 | 14,791 | 19321,9536 | 3236 | 0 | 0 | 3236 |
| SRPMK | 3 | 59,156 | 16009,4969 | 3242 | 8 | 2 | 3252 |
| SRPMM | 3 | 14,792 | 19319,9008 | 3236 | 0 | 0 | 3236 |

(Sumber : Data Penelitian)

Tabel 3 menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis masih dalam kategori Immediate Occupancy (IO) untuk sendi plastis pushover metode SRMPK dan SRPMM hingga langkah pertama. Sementara sendi plastis SRPMM tetap berada dalam kategori Immediate Occupancy (IO), sendi plastis pushover SRPMK mengalami perubahan pada kriteria Life Safety (LS) dan Collapse Prevention (CP) pada langkah ke-2 dan ke-3.

Tabel 4. Distribusi Sendi Plastis Pushover Y

| Metode | Step | Displacement | Base Force | A-IO | IO-LS | LS-CP | >CP | Total Hinges |
|--------|------|--------------|------------|------|-------|-------|-----|--------------|
| | | (mm) | (kN) | | | | | |
| SRPMK | 0 | 0 | 0 | 3252 | 0 | 0 | 0 | 3252 |
| SRPMM | 0 | 0 | 0 | 3236 | 0 | 0 | 0 | 3236 |
| SRPMK | 1 | 9,208 | 9056,9551 | 3252 | 0 | 0 | 0 | 3252 |
| SRPMM | 1 | 0,607 | 2023,6275 | 3236 | 0 | 0 | 0 | 3236 |
| SRPMK | 2 | 22,496 | 23355,5903 | 3227 | 20 | 3 | 2 | 3252 |
| SRPMM | 2 | 5,252 | 15707,0506 | 3236 | 0 | 0 | 0 | 3236 |
| SRPMK | 3 | 22,605 | 23501,9474 | 3227 | 19 | 4 | 2 | 3252 |
| SRPMM | 3 | 5,943 | 17775,0342 | 3236 | 0 | 0 | 0 | 3236 |

(Sumber : Data Penelitian)

Tabel 4 menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis masih dalam kategori Immediate Occupancy (IO) untuk sendi plastis pushover metode SRMPK dan SRPMM hingga langkah pertama. Sendi plastis SRPMM masih dalam kategori Immediate Occupancy (IO), sedangkan sendi plastis pushover SRPMK mengalami perubahan pada kriteria Life Safety (LS) dan Collapse Prevention (CP) pada langkah ke-2 dan ke-3.

Kedua pendekatan untuk menghitung struktur tahan gempa memberikan hasil yang sama untuk distribusi sendi plastis, yang berarti bahwa struktur tetap berada dalam kategori Immediate Occupancy (IO) dan tidak terdapat kecelakaan besar pada elemen-elemen struktur, yang kekuatan dan kekakuannya secara kasar tidak berubah dari sebelum gempa. Mayoritas bagian non-struktural masih dapat beroperasi jika utilitas tersedia dan tetap pada tempatnya. Bangunan dapat terus berjalan tanpa gangguan dari masalah pemeliharaan. Namun seperti yang ditunjukkan tabel di atas, struktur SRPMK lebih daktail daripada struktur SRPMM.

3. Batas Nilai Displacement antar Lantai

Sesuai SNI 1726-2019, batas maksimum perpindahan antar lantai akibat pengaruh beban gempa ditentukan dengan rumus $(0,015 \cdot h_{sx})/\rho$, di mana h_{sx} mewakili tinggi lantai, dan ρ adalah faktor redundansi yang diuraikan dalam SNI 1726-2019 (pasal 15), yang ditetapkan sebesar 1,3. Tabel di bawah ini menguraikan nilai kontrol maksimum untuk perpindahan antar lantai pada struktur gedung yang dipengaruhi oleh beban gempa.

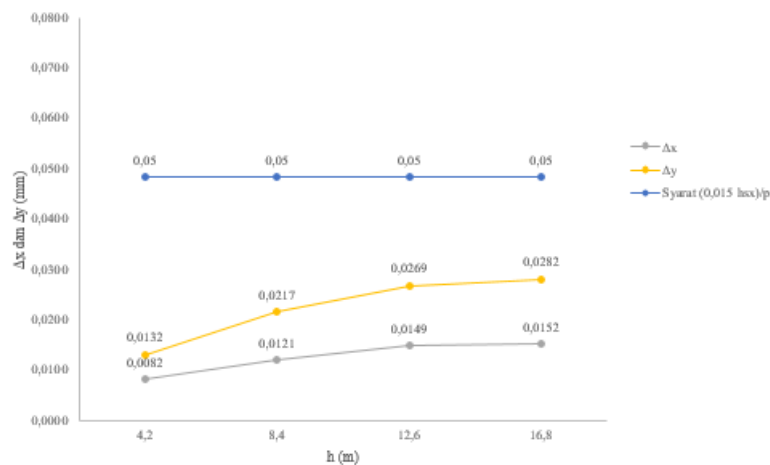
Tabel 5. Kontrol *displacement* antar lantai maksimum

| Metode | story | h | Δx | Δy | Syarat (0,015 h _{sx})/p | KET |
|--------|----------|-----|------------|------------|-----------------------------------|----------|
| | (text) | (m) | (m) | (m) | (m) | |
| SRPMK | Lantai 4 | 4,2 | 0,0152 | 0,0282 | 0,05 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 4 | 4,2 | 0,0090 | 0,0161 | 0,05 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 3 | 4,2 | 0,0149 | 0,0269 | 0,05 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 3 | 4,2 | 0,0089 | 0,0156 | 0,05 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 2 | 4,2 | 0,0121 | 0,0217 | 0,05 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 2 | 4,2 | 0,0073 | 0,0133 | 0,05 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 1 | 4,2 | 0,0082 | 0,0132 | 0,05 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 1 | 4,2 | 0,0052 | 0,0096 | 0,05 | Memenuhi |

(Sumber : Data Penelitian)

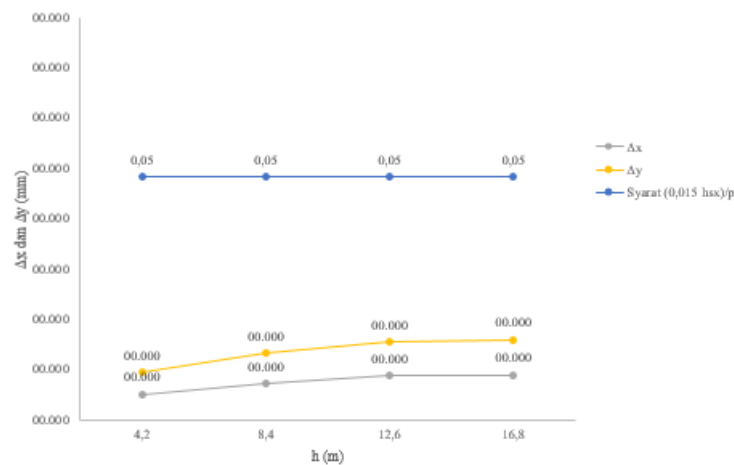
Perpindahan struktur gedung dalam arah X dan Y telah mencapai batas yang diperlukan, sesuai dengan tabel kontrol perpindahan antar lantai maksimum pada struktur yang ditunjukkan dalam tabel. Gambar berikut ini memperlihatkan grafik perpindahan antar lantai maksimum akibat beban gempa rencana:

Grafik Displacement Antar Lantai Maksimum SRPMK



Gambar 3. Grafik Displacement Antar lantai maksimum (SRPMK)

Grafik Displacement Antar Lantai Maksimum SRPMM



Gambar 4. Grafik Displacement Antar lantai maksimum (SRPMM)

4. Kinerja Struktur

a. Kinerja Batas Layan

Setelah analisis respons spektrum struktur gedung menggunakan program ETABS, hasil simpangan dikenakan kontrol kinerja batas layan, yang memiliki persyaratan diantaranya:

$$\frac{\Delta s}{FS} \leq \frac{0,03}{R} \times Hi \geq 30 \text{ mm} \quad (1)$$

Kontrol kinerja batas layan struktur gedung akibat pengaruh beban gempa arah X dan Y pada tabel berikut:

Tabel 6. Kinerja Batas Layan Arah X

| Metode | Story | h | Δs arah X | Δs antar tingkat X | Syarat Δs (0,03/R)*h | KET |
|--------|----------|-----|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------|
| | (text) | (m) | (m) | (m) | (m) | |
| SRPMK | Lantai 4 | 4,2 | 0,0152 | 0,0003 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 4 | 4,2 | 0,0090 | 0,0001 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 3 | 4,2 | 0,0149 | 0,0028 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 3 | 4,2 | 0,0089 | 0,0016 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 2 | 4,2 | 0,0121 | 0,0039 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 2 | 4,2 | 0,0073 | 0,0021 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 1 | 4,2 | 0,0082 | 0,0082 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 1 | 4,2 | 0,0052 | 0,0052 | 0,01575 | Memenuhi |

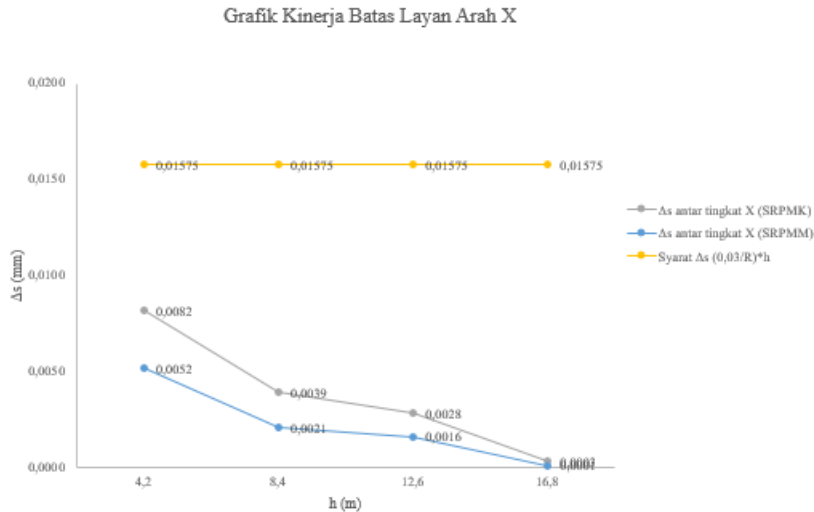
(Sumber : Data Penelitian)

Tabel 7. Kinerja Batas Layan Arah Y

| Metode | Story | h | Δs arah Y | Δs antar tingkat Y | Syarat Δs (0,03/R)*h | KET |
|--------|----------|-----|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------|
| | (text) | (m) | (m) | (m) | (m) | |
| SRPMK | Lantai 4 | 4,2 | 0,0282 | 0,0013 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 4 | 4,2 | 0,0161 | 0,0005 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 3 | 4,2 | 0,0269 | 0,0052 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 3 | 4,2 | 0,0156 | 0,0023 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 2 | 4,2 | 0,0217 | 0,0085 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 2 | 4,2 | 0,0133 | 0,0037 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 1 | 4,2 | 0,0132 | 0,0132 | 0,01575 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 1 | 4,2 | 0,0096 | 0,0096 | 0,01575 | Memenuhi |

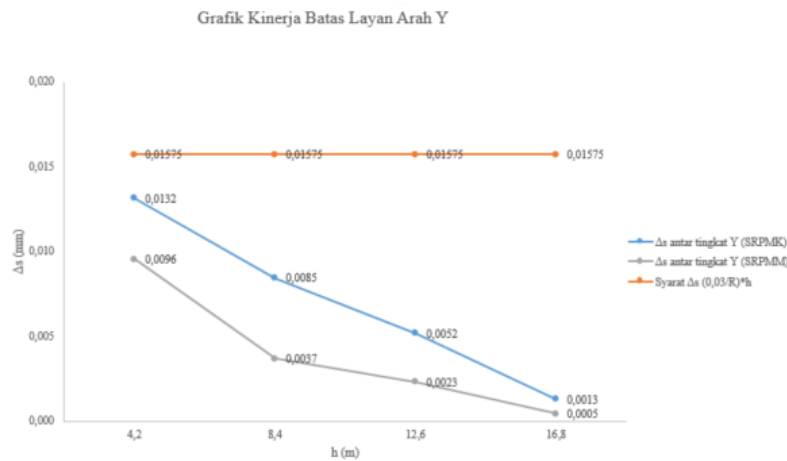
(Sumber : Data Penelitian)

Tabel berikut ini menampilkan grafik kinerja batas layan struktur gedung sebagai fungsi dari beban gempa arah X:



Gambar 5. Grafik Kinerja Batas Layan Arah X

Tabel berikut ini menampilkan grafik kinerja batas layan struktur gedung akibat beban gempa arah Y:



Gambar 6. Grafik Kinerja Batas Layan Arah Y

Tabel tersebut menunjukkan bahwa perhitungan kontrol kinerja struktur bangunan untuk arah X dan Y menunjukkan bahwa nilai deviasi (drift) antar tingkat berada dalam persyaratan batas layan yang ditentukan, sehingga memastikan kepatuhan terhadap standar yang diperlukan.

b. Kinerja Batas Ultimit

Hasil Penyimpangan Kriteria berikut ini digunakan untuk mengontrol kinerja batas ultimit berdasarkan analisis program ETABS terhadap respons struktur bangunan:

$$\epsilon \times \Delta m \leq 0,02 \times Hi \tag{2}$$

Tabel 8. Kinerja Batas Ultimit Arah X

| Metode | story | h | Δm arah X | Δm antar tingkat X | fp. Δm antar tingkat X | Syarat Δm (0,02*H) | KET |
|--------|----------|-----|-------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------|
| | (text) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | |
| SRPMK | Lantai 4 | 4,2 | 0,0152 | 0,0003 | 0,0016 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 4 | 4,2 | 0,0090 | 0,0001 | 0,0006 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 3 | 4,2 | 0,0149 | 0,0028 | 0,0159 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 3 | 4,2 | 0,0089 | 0,0016 | 0,0090 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 2 | 4,2 | 0,0121 | 0,0039 | 0,0221 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 2 | 4,2 | 0,0073 | 0,0021 | 0,0117 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 1 | 4,2 | 0,0082 | 0,0082 | 0,0458 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 1 | 4,2 | 0,0052 | 0,0052 | 0,0290 | 0,084 | Memenuhi |

(Sumber : Data Penelitian)

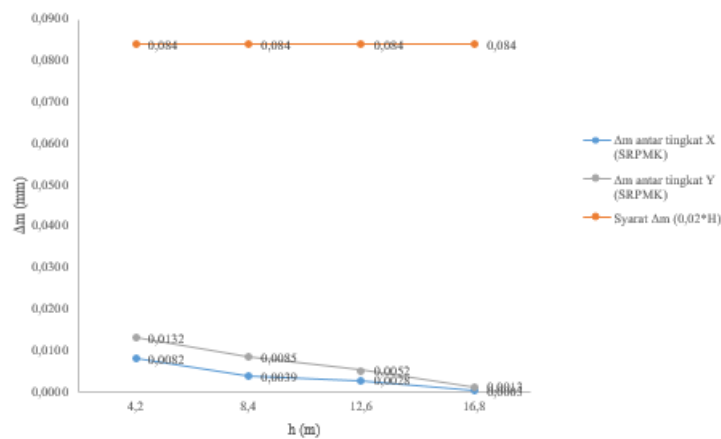
Tabel 9. Kinerja Batas Utimit Arah Y

| Metode | story | h | Δm arah Y | Δm antar tingkat Y | fp. Δm antar tingkat Y | Syarat Δm (0,02*H) | KET |
|--------|----------|-----|-------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------|
| | (text) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | |
| SRPMK | Lantai 4 | 4,2 | 0,028 | 0,0013 | 0,0074 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 4 | 4,2 | 0,016 | 0,0005 | 0,0025 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 3 | 4,2 | 0,027 | 0,0052 | 0,0292 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 3 | 4,2 | 0,016 | 0,0023 | 0,0130 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 2 | 4,2 | 0,022 | 0,0085 | 0,0474 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 2 | 4,2 | 0,013 | 0,0037 | 0,0207 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMK | Lantai 1 | 4,2 | 0,013 | 0,0132 | 0,0738 | 0,084 | Memenuhi |
| SRPMM | Lantai 1 | 4,2 | 0,010 | 0,0096 | 0,0537 | 0,084 | Memenuhi |

(Sumber : Data Penelitian)

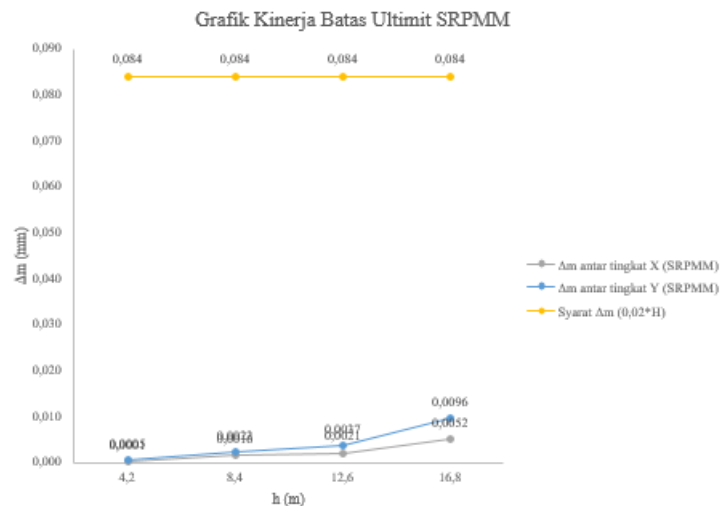
Tabel di bawah ini menunjukkan grafik kinerja batas ultimit struktur bangunan akibat beban gempa arah X:

Grafik Kinerja Batas Ultimit SRPMK



Gambar 7. Grafik Kinerja Batas Layan Ultimit SRPMK

Tabel berikut ini menunjukkan grafik kinerja batas ultimit struktur gedung ketika dikenai beban gempa arah Y:



Gambar 8. Grafik Kinerja Batas Layan Ultimit SRPMM

Menurut perhitungan pengaturan kinerja batas ultimit struktur gedung untuk arah X dan Y pada tabel, struktur gedung mencukupi batas yang disyaratkan karena nilai simpangan antar tingkat tidak melampaui persyaratan kinerja batas layan.

5. Kriteria Struktur ATC-40

Hasil batasan rasio drift untuk tingkat kinerja Gedung ini, sesuai ATC-40, ditampilkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 10. Evaluasi Kriteria gedung Menurut ATC-40

| Metode | story | h | Δx | Δy | Dt x | Dt y | Immedite occupancy | Damage Control | Life Safety | Ket |
|--------|----------|-----|--------|--------|---------|---------|--------------------|----------------|-------------|--------------------|
| | (text) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | |
| SRPMK | Lantai 4 | 4,2 | 0,0152 | 0,0282 | 0,00091 | 0,00168 | 0,01 | 0,01 - 0,02 | 0,02 | Immedite occupancy |
| SRPMM | Lantai 4 | 4,2 | 0,0090 | 0,0161 | 0,00054 | 0,00096 | 0,01 | 0,01 - 0,02 | 0,02 | Immedite occupancy |
| SRPMK | Lantai 3 | 4,2 | 0,0149 | 0,0269 | 0,00089 | 0,00160 | 0,01 | 0,01 - 0,03 | 0,02 | Immedite occupancy |
| SRPMM | Lantai 3 | 4,2 | 0,0089 | 0,0156 | 0,00053 | 0,00093 | 0,01 | 0,01 - 0,03 | 0,02 | Immedite occupancy |
| SRPMK | Lantai 2 | 4,2 | 0,0121 | 0,0217 | 0,00072 | 0,00129 | 0,01 | 0,01 - 0,04 | 0,02 | Immedite occupancy |
| SRPMM | Lantai 2 | 4,2 | 0,0073 | 0,0133 | 0,00043 | 0,00079 | 0,01 | 0,01 - 0,04 | 0,02 | Immedite occupancy |
| SRPMK | Lantai 1 | 4,2 | 0,0082 | 0,0132 | 0,00049 | 0,00078 | 0,01 | 0,01 - 0,05 | 0,02 | Immedite occupancy |
| SRPMM | Lantai 1 | 4,2 | 0,0052 | 0,0096 | 0,00031 | 0,00057 | 0,01 | 0,01 - 0,05 | 0,02 | Immedite occupancy |

(Sumber : Data Penelitian)

Kesimpulan

Setelah melakukan Evaluasi Gedung Rumah Sakit dengan dua metode SRPMM & SRPMK sehingga bisa ditarik kesimpulan antara lain:

1. Dimensi dan jumlah tulangan Balok dan Kolom SRPMM lebih besar dari SRPMK akibat dari adanya perbedaan nilai faktor sistem gaya seismik yaitu koefisien modifikasi respon, nilai faktor kuat belah sistem dan faktor pembesaran defleksi. Nilai SRPMM ialah $R = 5$, $\Omega_0 = 3$, $C_d = 4,5$ sedangkan nilai SRPMK adalah $R = 8$, $\Omega_0 = 3$, $C_d = 5,5$. Oleh karena itu kekakuan struktur SRPMM lebih besar dari struktur SRPMK.
2. Nilai daktilitas sesaat sebelum struktur runtuh Analisis pushover non-linier menunjukkan bahwa pendekatan SRPMK mempunyai perpindahan yang lebih tinggi daripada SRPMM untuk kedua struktur.
3. Sesuai pemeriksaan *displacement* antar lantai maksimum arah X dan arah Y, Gedung rumah sakit pandanarang boyolali dengan dua metode SRPMK & SRPMM dinyatakan telah memenuhi syarat *displacement* antar lantai maksimum yang diperbolehkan sesuai SNI 1726-2019 Pasal 12.6.4.4. $((0,015 \cdot h_{sx})/\rho)$.
4. Berdasarkan tinjauan perpindahan dan simpangan X dan Y, Gedung rumah sakit pandanarang boyolali dengan dua metode SRPMK & SRPMM sudah memenuhi syarat terhadap syarat kinerja batas layan, $((0,03/R) \cdot xH)$ dan syarat kinerja batas ultimit $(0,02 \cdot xH)$.

5. Gedung RSUD Pandanarang Boyolali termasuk dalam kategori tingkat Immediate Occupancy (IO) menurut hasil dari kedua metode SRPMK & SRPMM terhadap tingkat kinerja struktur gedung menurut ATC-40. Hal ini digambarkan dengan nilai maksimum total drift baik arah X maupun Y.

Daftar Pustaka

- Almufid, A., & Hidayah, S. (2019), "Perencanaan Struktur Atas Gedung Hunian 12 Lantai Menggunakan Srpmk" *Jurnal Teknik*, Vol. 8(2).
- Cahyaka, H. W., Wibowo, A., Handayani, K. D., Wiyono, A., & Santoso, E. H. (2018), "TIM EJOURNAL Ketua Penyunting : Penyunting : Mitra bestari : Penyunting Pelaksana : Redaksi : Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya Website : tekniksipilunesa . org Email : REKATS. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 186–194.
- Dwiyanti, D., Naibaho, A., & Trianto, D. (2020), "Perencanaan Portal Beton Bertulang Tahan Gempa Srpmk Pada Kantor Kecamatan Pagu Kabupaten Kediri" *Jurnal JOS-MRK*, Vol. 1(3) pp. 97–102.
- Irianti, B., & Karlinah, N. (2021). Vol. 3 No.2 Edisi 2 Januari 2021 <http://jurnal.ensiklopediaku.org> *Ensiklopedia of Journal*. 3(2), 195–200.
- Iskandar, M. R. (2021), "Perancangan Ulang Struktur Gedung It Center Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta Dengan Nilai R 5,5" *CivETech*, Vol. 11(1) pp. 22–33.
- Navalgund, S. (2022), "Comparative Analysis of Multi-Storey Building by Response Spectrum Method and Time History Analysis in Different Seismic Zones" *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) ISSN*, Vol. 10(9) pp. 8–17.
- Roshaunda, D., & Setiawan, A. A. (2020), "Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi Bangunan Tahan Gempa Wilayah DKI Jakarta dan Penajam Paser Utara" *Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun*, Vol. 6(2) pp. 86.
- Rupidara, Y. A., Cornelis, R., & Sir, T. M. W. (2022), "Analisis Perbandingan Kinerja Seismik dari Struktur Gedung dengan Pelat Konvensional, Waffle Slab, dan Flat Slab" *JURNAL FORUM TEKNIK SIPIL (J-ForTekS)*, Vol. 2(1) pp. 80–91.
- SNI 1726. (2019), "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung", Sni 1726:2019 ,8, 254.
- Tajunnisa, Y., Chadaffi, M., & Ramadhaniawan, V. (2014), "Perbandingan Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Tahan Gempa antara Metode SRPMM dan SRPMK" *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, Vol. 12(1) pp. 1.
- Tampubolon, S. P., Sarasantika, 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*, Vol. 10(2) pp.169–186.