

RESPON STRUKTUR BETON GEDUNG APARTEMEN DAN PERKANTORAN 20 LANTAI AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN METODE RESPON SPEKTRUM

Arief Kusbiantoro^{1,*}), Rini Kusumawardani¹), Untoro Nugroho¹), Agung Sutarto¹), Muhammad Aidhil Dzikri¹), Moh Ari Restian Nugraha¹), Rakha Alfarizhi Yus¹), Bisma Garda Indonesia¹), Septindra Hafizh Al Furqon¹), Nisqiyah Firdaus²), Mirara Khanza²)

¹)Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang
Jln. Sekaran, Gunungpati, Kota Semarang 50229

²)Institut Teknologi Bandung
Jln. Ganesha No. 10 Bandung

^{*})Correspondent Author: arief_kusbiantoro@mail.unnes.ac.id

Abstract

A 20-story building located in Bandung, with a height of 70.5 m, functions as both an office building and an apartment complex. As a high-rise structure, seismic analysis of the building is required to determine the seismic pattern using the response spectrum method. The response spectrum method is used to compare V-static with V-dynamic based on SNI 1726-2019, and to determine the structural performance of the 20-story building frame. The results obtained for each frame using a combination of cases (static + seismic) show that, for displacement review, the highest shift occurs on the 20th floor at 1003.27 mm, and the highest drift value is on the 9th floor at 125.92 mm. The internal forces on the sample column show the highest results on the 5th-floor column C1 with 1.07×10^5 kN for F_x , 1.95×10^3 kN for F_y , and a moment of 5.44×10^3 kN-m, through the combination (static + seismic). Meanwhile, for the reviewed beam forces, the highest values are found on beam B53 on the 6th floor with an F_x value of 80.23 kN, F_y of 3140.53 kN, and the largest moment on the 15th-floor beam B53 of 793.46 kN-m.

Keywords: Displacement, drift, frequency, period, seismic, static

PENDAHULUAN

Indonesia salah satu negara kepulauan besar di dunia, terletak di salah satu wilayah tektonik yang aktif. Berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik, serta sejumlah lempeng mikro, Indonesia menjadi salah satu negara yang paling rawan terhadap aktivitas gempa bumi (Afriandini, 2022). Gempa bumi, sebagai salah satu bencana alam yang paling destruktif, memiliki dampak signifikan terhadap struktur

bangunan (Afrida, 2020). Tingkat kerusakan akibat gempa bervariasi, dipengaruhi besarnya kekuatan gempa, jarak dari titik pusat gempa, sistem fondasi, beban bangunan, dimensi bangunan, bentuk bangunan, karakteristik batuan dasar, serta jenis tanah. Jika gempa bumi terjadi, dapat menimbulkan bahaya karena gempa tidak dapat diprediksi secara pasti (Trangipani et al, 2022).

Getaran yang dihasilkan oleh pergerakan lempeng tektonik bumi

dapat melampaui batas ketahanan konstruksi (Annisa, 2020). Pemahaman mendalam tentang interaksi antara gaya seismik dan respon struktur bangunan menjadi kunci dalam menganalisis gempa terhadap bangunan sekaligus merancang konstruksi tahan gempa, sehingga perlu dilakukan analisis respon spektrum terhadap gedung bertingkat (Bayyinah, 2017 dan Harahap, 2019). Semakin tinggi struktur gedung semakin rentan gedung tersebut dalam menyangga gaya lateral, terutama gaya gempa sehingga perlu dilakukan perencanaan yang menyeluruh terhadap desain bangunan tahan gempa (Prismastanto, 2019).

Analisis dinamik respon spektrum merupakan salah satu sarana untuk mengetahui persyaratan parameter bangunan tahan gempa dan untuk melakukan pengecekan kapasitas suatu elemen struktur (Hassabala, 2023 dan Hilmi, 2021). Analisis ini dinilai dapat memberikan hasil perhitungan yang lebih akurat dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen (Indera, 2022 dan Marwati, 2022). Proses dilakukan dengan mengidentifikasi dan mengukur komponen struktur berdasarkan respon struktur untuk memantau kualitas struktur, sehingga didapatkan hasil perhitungan kinerja struktur yang tepat untuk mengamankan struktur tersebut dari gempa, sesuai dengan standar peraturan gempa yang berlaku (Rafsanjani, 2021 dan Silaban, 2023).

Pada analisis struktur gedung dilakukan berdasarkan SNI 1726-2019, dengan tujuan untuk menentukan pola seismik dengan menggunakan respon spektrum, dengan menganalisa pola

distribusi gempa bumi dalam satu periode waktu tertentu pada bangunan yang diujikan (Suntoko, 2019). Analisis respon spektrum pada struktur bangunan merupakan analisis interpretasi dari pergerakan tanah pada struktur dengan simulasi getaran sehingga dalam analisis ini harus melibatkan jumlah ragam yang cukup untuk memperoleh parameter massa ragam terkombinasi 100% dari massa struktur (Abdu et al, 2024).

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang ditampilkan dalam bentuk grafik atau plot antara periode getar suatu struktur (T) dengan respon-respon maksimumnya berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu (Tanii et al, 2023). Ulhaq, dkk pada tahun 2024 melakukan analisis terkait Kerusakan Struktur Dan Manajemen Bencana Pasca-Gempa Di Cihampelas, Bandung, penelitian tersebut menyatakan bahwa kerusakan pada struktur bangunan dapat terjadi karena faktor normal, variable mekanis, dan variabel fungsional. Kerusakan akibat gaya gempa pada bangunan disebabkan karena praktik konstruksi yang tidak memenuhi peraturan umum dan standar bangunan tahan gempa. Kontinuitas struktur bangunan gedung harus dapat diprediksi sehingga soliditas dan kekuatan terpenuhi secara merata ke seluruh kerangka bangunan gedung.

Dengan cara ini, ketelitian harus diperhatikan untuk menghindari gumpalan dan goresan pada komponen di bawahnya (Ulhaq et al, 2024). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai *displacement* dan nilai *drift* pada gedung perkantoran dan

apartemen 20 lantai yang terletak di Bandung.

METODE PENELITIAN

Metode respon spektrum yang digunakan menyajikan kurva atau grafik antara periode getar pada struktur yang didapat dari suatu spektrum, dengan rasio redaman yang di dapat dari respon maksimum serta getaran gempa. Tahap pertama adalah dengan memodelkan struktur bangunan secara 3D (tiga dimensi) menggunakan program *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems* (ETABS) V21 serta menghitung dan memasukkan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Kemudian dengan memasukkan respon spektrum berdasarkan lokasi model bangunan pada <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> dan kelas tanah berdasarkan hasil dari penyelidikan tanah dilanjutkan dengan menentukan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s), percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1), dan data periodenya sesuai data respon spektra.

Nilai parameter yang akan digunakan untuk menganalisis didapat dari perhitungan otomatis melalui situs resmi RSA Cipta Karya. Kemudian menghitung sekaligus menginput nilai periode dan value pada menu *define functions* respon spektrum. Dilanjutkan dengan menambah beban mati, beban hidup di menu *mass source*, lalu memasukkan nilai *static Ex* dan *static Ey* pada *define-load patterns*. Setelah

itu menentukan sistem struktur dan parameter sistem, yaitu koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran (C_d) sesuai dengan SNI 1726: 2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung).

Elemen struktur yang hitung adalah kolom sebanyak 10 sampel dan balok sebanyak 4 balok yang mewakili keseluruhan struktur gedung. Setelah perhitungan sampel pada struktur kolom dan balok, data dimasukkan pada *static Ex* dan *Ey* dengan memilih *modify lateral*. Kemudian menambahkan beban respon spektrum dengan menyalin beban statis dan memberi nama Gempa X dan Gempa Y, lalu memodifikasi sesuai dengan tipe beban. Berikutnya melakukan *run analysis* respon spektrum dan menghitung ulang *scale factors* untuk penyesuaian nilai sebagai faktor koreksi. Kemudian akhirnya menyimpulkan analisis respon spektrum dari hasil tabel yang telah didapatkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kombinasi Beban

Perancangan kekuatan seismic menggunakan 18 kombinasi pembebanan seperti pada Tabel 1. Semua kombinasi yang memiliki komponen gempa dimasukkan untuk menganalisis struktur gedung pada program *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems* (ETABS) V21.

Tabel 1. Kombinasi Pembebanan

| Kombinasi | Komponen |
|-----------|---|
| Comb 1 | 1,4 Mati + 1,4 SIDL |
| Comb 2 | 1,2 Mati + 1,6 Hidup + 1,2 SIDL |
| Comb 3 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup + 1 Gempa X + 0,3 Gempa Y |
| Comb 4 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup + 1 Gempa X - 0,3 Gempa Y |
| Comb 5 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup - 1 Gempa X - 0,3 Gempa Y |
| Comb 6 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup - 1 Gempa X + 0,3 Gempa Y |
| Comb 7 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup + 0,3 Gempa X + 1 Gempa Y |
| Comb 8 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup - 0,3 Gempa X + 1 Gempa Y |
| Comb 9 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup - 0,3 Gempa X - 1 Gempa Y |
| Comb 10 | 1,39 Mati + 1,39 SIDL + 1 Hidup + 0,3 Gempa X - 1 Gempa Y |
| Comb 11 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL + 1 Gempa X + 0,3 Gempa Y |
| Comb 12 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL + 1 Gempa X - 0,3 Gempa Y |
| Comb 13 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL - 1 Gempa X - 0,3 Gempa Y |
| Comb 14 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL - 1 Gempa X + 0,3 Gempa Y |
| Comb 15 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL + 0,3 Gempa X + 1 Gempa Y |
| Comb 16 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL - 0,3 Gempa X + 1 Gempa Y |
| Comb 17 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL - 0,3 Gempa X - 1 Gempa Y |
| Comb 18 | 0,71 Mati + 0,71 SIDL + 0,3 Gempa X - 1 Gempa Y |

Detail Rangka dan Studi Kasus

Bangunan perkantoran dan apartemen dengan struktur beton bertulang setinggi 20 lantai dianalisa untuk mengetahui kinerja strukturnya. Dengan parameter penting yang berpengaruh dalam analisis ini adalah

beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang dihitung berdasarkan *Response Spectrum Approach (RSA)*. Detail ukuran penampang yang ada pada Gedung seperti yang ada di Tabel 2.

Tabel 2. Jenis Kolom dan Balok pada Rangka Bangunan

| Posisi Lantai | 1-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 |
|-------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Ukuran Kolom (mm) | 1200 × 1200 | 1000 × 1000 | 800 × 800 | 550 × 550 |
| Tipe Balok | 600 × 300 | | 550 × 250 | |

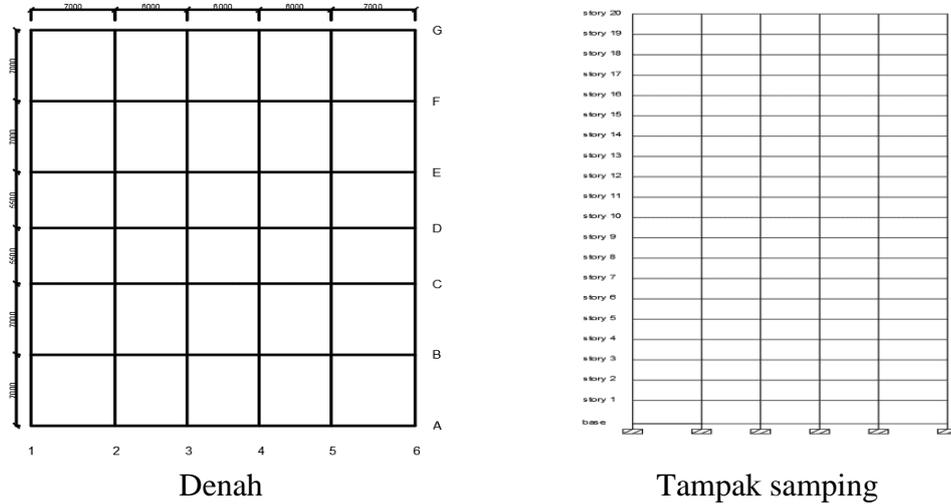
Analisis struktur menggunakan program *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems (ETABS)* V21. Data percepatan tanah dasar dibandingkan dengan periode waktu yang digunakan dalam analisis gempa. Data gempa diambil dari RSA Cipta Karya sebagai data masukan untuk menghitung parameter respon

spektrum, yaitu *displacement* dan *stress* dengan rasio redaman diambil sebesar 0,05 (5 % dari redaman kritis).

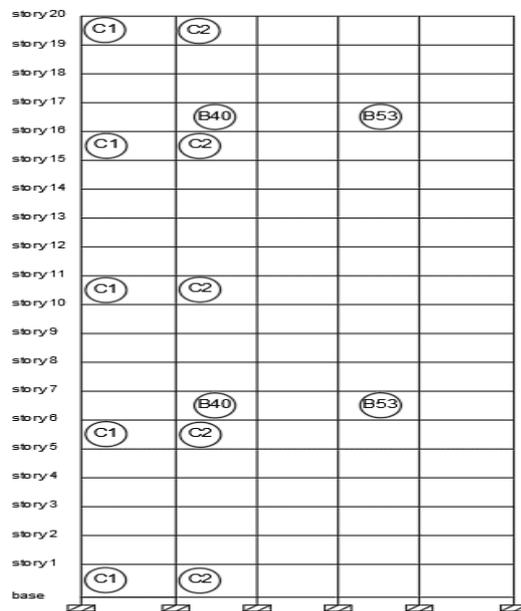
Analisis model ini diambil beberapa elemen kolom yang ditinjau untuk mengetahui gaya dalam dan momen, diantaranya adalah kolom C1 dan C2 pada lantai 5, lantai 10, lantai 15, dan lantai 20. Untuk sampel elemen

balok yang ditinjau adalah balok B40 pada lantai 6 dan balok B53 pada lantai 16. Denah dan tampak samping Gedung

disajikan pada Gambar 1 dan lokasi titik elemen Gedung yang ditinjau disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Konfigurasi Kerangka Bangunan



Gambar 2. Pemilihan Titik dan Bagian dari Rangka

Parameter dari RSA Cipta Karya seperti percepatan puncak batuan dasar (PGA), percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s), percepatan batuan dasar

periode 1 detik (S_1), nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek $T=0,2$ detik (SDS), dan nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

(SD1). Nilai faktor amplifikasi periode pendek (FA), faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (FV) didapat dari perhitungan otomatis perangkat , yang digunakan sebagai data masukan untuk

analisa menggunakan respon spektrum seperti yang dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil analisis didapatkan besaran nilai displacement seperti pada Tabel 4.

Tabel 3. Perhitungan Respon Spektrum Situs Bangunan

| Kelas situs | Nilai |
|-------------|-------|
| PGA (g) | 0,57 |
| S_s (g) | 1,45 |
| S_1 (g) | 0,48 |
| FA | 1 |
| FV | 1,51 |
| SDS(g) | 1,45 |
| SD1(g) | 0,73 |

Tabel 4. Nilai *Displacement*

| Lantai | NODE | L/C | Horizontal (mm) Ux | Vertikal (mm) Uy | Horizontal (mm) Uz | Resultan (mm) |
|--------|------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------|
| 20 | 851 | 1. Mati + Hidup | 8,86 | -0,08 | -6,06 | 10,74 |
| | | 2.Gempa | 117,80 | 2,11 | 8,34 | 118,12 |
| | | 3.Statik + Gempa | 1003,27 | 6,36 | 65,1 | 1005,40 |
| 19 | 853 | 1. Mati + Hidup | 8,11 | -0,07 | -6,03 | 10,11 |
| | | 2.Gempa | 111,09 | 2,00 | 8,42 | 111,44 |
| | | 3.Statik + Gempa | 947,37 | 6,02 | 65,82 | 949,68 |
| 18 | 855 | 1. Mati + Hidup | 7,37 | -0,07 | -5,94 | 9,47 |
| | | 2.Gempa | 104,24 | 1,88 | 8,54 | 104,61 |
| | | 3.Statik + Gempa | 889,51 | 5,67 | 67,27 | 892,08 |
| 17 | 857 | 1. Mati + Hidup | 6,65 | -0,06 | -5,80 | 8,83 |
| | | 2.Gempa | 97,28 | 1,76 | 8,61 | 97,68 |
| | | 3.Statik + Gempa | 829,90 | 5,31 | 68,64 | 832,75 |
| 16 | 859 | 1. Mati + Hidup | 5,95 | -0,06 | -5,60 | 8,18 |
| | | 2.Gempa | 90,20 | 1,63 | 8,59 | 90,63 |
| | | 3.Statik + Gempa | 768,48 | 4,93 | 69,64 | 771,65 |
| 15 | 861 | 1. Mati + Hidup | 5,29 | -0,05 | -5,36 | 7,53 |
| | | 2.Gempa | 82,99 | 1,50 | 8,47 | 83,44 |
| | | 3.Statik + Gempa | 705,27 | 4,54 | 69,87 | 708,74 |
| 14 | 863 | 1. Mati + Hidup | 4,67 | -0,05 | -5,15 | 6,96 |
| | | 2.Gempa | 75,83 | 1,36 | 8,35 | 76,31 |
| | | 3.Statik + Gempa | 642,12 | 4,14 | 69,57 | 645,89 |
| 13 | 865 | 1. Mati + Hidup | 4,08 | -0,04 | -4,90 | 6,38 |
| | | 2.Gempa | 68,65 | 1,23 | 8,20 | 69,15 |
| | | 3.Statik + Gempa | 578,43 | 3,74 | 68,85 | 582,53 |
| 12 | 867 | 1. Mati + Hidup | 3,52 | -0,04 | -4,61 | 5,80 |
| | | 2.Gempa | 61,51 | 1,10 | 7,98 | 62,04 |
| | | 3.Statik + Gempa | 515,04 | 3,33 | 67,50 | 519,46 |
| 11 | 869 | 1. Mati + Hidup | 3,00 | -0,03 | -4,28 | 5,23 |

| | | | | | | |
|----|-----|------------------|--------|-------|-------|--------|
| | | 2.Gempa | 54,46 | 0,96 | 7,70 | 55,02 |
| | | 3.Statik + Gempa | 452,50 | 2,93 | 65,4 | 457,22 |
| | | 1. Mati + Hidup | 2,52 | -0,03 | -3,91 | 4,65 |
| 10 | 871 | 2.Gempa | 47,52 | 0,83 | 7,35 | 48,09 |
| | | 3.Statik + Gempa | 391,42 | 2,54 | 62,38 | 396,37 |
| | | 1. Mati + Hidup | 2,08 | -0,02 | -3,60 | 4,16 |
| 9 | 873 | 2.Gempa | 40,8 | 0,71 | 7,04 | 41,41 |
| | | 3.Statik + Gempa | 332,80 | 2,16 | 59,63 | 338,11 |
| | | 1. Mati + Hidup | 1,67 | -0,02 | -3,26 | 3,67 |
| 8 | 875 | 2.Gempa | 34,27 | 0,59 | 6,65 | 34,92 |
| | | 3.Statik + Gempa | 207,82 | 0,61 | 42,81 | 212,19 |
| | | 1. Mati + Hidup | 1,30 | -0,01 | -2,89 | 3,18 |
| 7 | 877 | 2.Gempa | 28,03 | 0,47 | 6,17 | 28,71 |
| | | 3.Statik + Gempa | 223,1 | 1,45 | 51,74 | 229,03 |
| | | 1. Mati + Hidup | 0,979 | -0,01 | -2,49 | 2,68 |
| 6 | 879 | 2.Gempa | 22,17 | 0,37 | 5,59 | 22,88 |
| | | 3.Statik + Gempa | 173,86 | 1,125 | 46,36 | 179,95 |
| | | 1. Mati + Hidup | 0,70 | -0,01 | -2,06 | 2,18 |
| 5 | 881 | 2.Gempa | 16,80 | 0,27 | 4,87 | 17,50 |
| | | 3.Statik + Gempa | 129,69 | 0,83 | 39,88 | 135,69 |
| | | 1. Mati + Hidup | 0,47 | -0,01 | -1,71 | 1,78 |
| 4 | 883 | 2.Gempa | 11,98 | 0,19 | 4,25 | 12,72 |
| | | 3.Statik + Gempa | 91,00 | 0,58 | 34,35 | 97,27 |
| | | 1. Mati + Hidup | 0,279 | -0,01 | -1,33 | 1,37 |
| 3 | 885 | 2.Gempa | 7,70 | 0,12 | 3,49 | 8,46 |
| | | 3.Statik + Gempa | 57,38 | 0,36 | 27,86 | 63,79 |
| | | 1. Mati + Hidup | 0,13 | -0,01 | -0,93 | 0,95 |
| 2 | 887 | 2.Gempa | 4,13 | 0,06 | 2,57 | 4,87 |
| | | 3.Statik + Gempa | 30,05 | 0,18 | 20,26 | 36,25 |
| | | 1. Mati + Hidup | 0,03 | -0,01 | -0,51 | 0,51 |
| 1 | 849 | 2.Gempa | 1,45 | 0,02 | 1,47 | 2,07 |
| | | 3.Statik + Gempa | 10,22 | 0,06 | 11,44 | 15,35 |

Data perolehan *displacement* dengan beberapa kombinasi beban (beban hidup + mati, beban gempa, beban statis). Berdasarkan resultan yang diperoleh kombinasi beban pertama, yakni beban mati + hidup bangunan yang memiliki nilai pada lantai 1 sebesar 0,51 mm. Selanjutnya pada lantai 2 hingga lantai 15 mengalami kenaikan nilai sebesar 0,40 mm sampai 0,58 mm dari lantai sebelumnya. Pada lantai 16 hingga lantai 19 mengalami kenaikan nilai sebesar > 0,60 mm dari lantai

sebelumnya dan pada lantai 20 beban mati + hidup bangunan memiliki nilai sebesar 10,74 mm. Pada kombinasi beban kedua, yakni beban gempa bangunan yang memiliki nilai *displacement* pada lantai 1 sebesar 2,07 mm, selanjutnya pada lantai 2 hingga lantai 5 mengalami kenaikan nilai sebesar < 6 mm dari lantai sebelumnya.

Pada lantai 6 hingga lantai 20 mengalami kenaikan nilai sebesar > 6 mm, yang mana lantai 20 memiliki nilai sebesar 118,12 mm. Pada beban ketiga, yakni beban statis bangunan yang

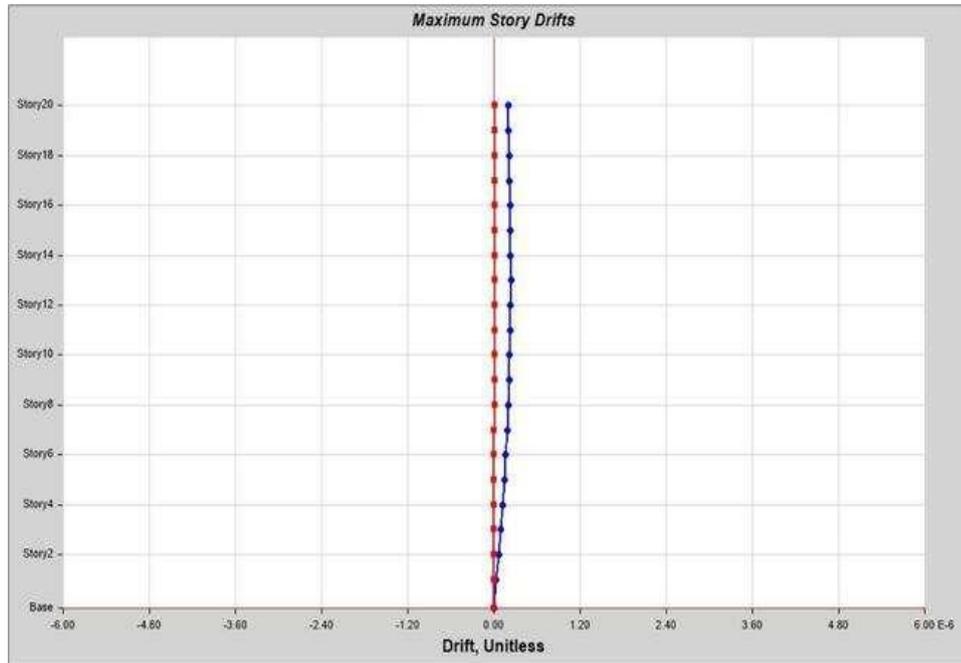
memiliki nilai pada lantai 1 sebesar 15,35 mm, selanjutnya pada lantai 2 hingga lantai 7 mengalami kenaikan, yang mana pada lantai 7 nilai sebesar 229,03 mm, kemudian mengalami sedikit penurunan pada lantai 8 dengan nilai sebesar 212,19 mm dan selanjutnya mengalami kenaikan hingga lantai 20 dengan nilai pada lantai 20 sebesar 1005,40 mm. Data perolehan *displacement* akhir dan nilai *drift* struktur bangunan untuk setiap lantai disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 3 menunjukkan grafik maksimum nilai *drift* semua lantai gedung.

Nilai *displacement* akhir dengan kombinasi beban static dan dinamik memiliki nilai pada lantai 1 sebesar 15,35 mm. Selanjutnya pada lantai 2 hingga lantai 7 mengalami kenaikan, yang mana pada lantai 7 nilai sebesar

229,03 mm. Kemudian mengalami sedikit penurunan pada lantai 8 dengan nilai sebesar 212,19 mm dan selanjutnya mengalami kenaikan hingga lantai 20 dengan nilai pada lantai 20 sebesar 1005,40 mm. Pada *drift* mengalami kenaikan dari lantai 1 dengan nilai 0 mm hingga lantai 7 dengan nilai 49,08 mm, lalu mengalami penurunan pada lantai 8 dengan nilai 16,48 mm, dan mengalami lonjakan nilai *drift* pada lantai 9 dengan nilai 125,92 mm, lalu turun pada lantai 10 dengan nilai 58,26 mm dan terus meningkat hingga lantai 14 dengan nilai 63,36 mm, lalu mengalami penurunan nilai *drift* dari lantai 15 dengan nilai 62,85 mm hingga lantai 20 dengan nilai 55,72 mm. Data perolehan gaya dalam dari elemen kolom dan balok yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 5. Data Perolehan *Displacement* Akhir dan *Drift*

| Lantai | NODE | L/C | Resultant Displacement (mm) | Drift (mm) |
|--------|------|----------------|-----------------------------|------------|
| 20 | 851 | Statik + gempa | 1005,40 | 55,72 |
| 19 | 853 | Statik + gempa | 949,68 | 57,60 |
| 18 | 855 | Statik + gempa | 892,08 | 59,33 |
| 17 | 857 | Statik + gempa | 832,75 | 61,11 |
| 16 | 859 | Statik + gempa | 771,65 | 62,91 |
| 15 | 861 | Statik + gempa | 708,74 | 62,85 |
| 14 | 863 | Statik + gempa | 645,89 | 63,36 |
| 13 | 865 | Statik + gempa | 582,53 | 63,07 |
| 12 | 867 | Statik + gempa | 519,46 | 62,24 |
| 11 | 869 | Statik + gempa | 457,22 | 60,85 |
| 10 | 871 | Statik + gempa | 396,37 | 58,26 |
| 9 | 873 | Statik + gempa | 338,11 | 125,92 |
| 8 | 875 | Statik + gempa | 212,19 | 16,84 |
| 7 | 877 | Statik + gempa | 229,03 | 49,08 |
| 6 | 879 | Statik + gempa | 179,95 | 44,26 |
| 5 | 881 | Statik + gempa | 135,69 | 38,42 |
| 4 | 883 | Statik + gempa | 97,27 | 33,48 |
| 3 | 885 | Statik + gempa | 63,79 | 27,54 |
| 2 | 887 | Statik + gempa | 36,25 | 20,90 |
| 1 | 849 | Statik + gempa | 15,35 | 0 |



Gambar 3. Grafik *Maksimum Story Drift*

Tabel 6. Data Perolehan Gaya dalam dari Kolom

| Lantai | L/C | Kolom | Fx (kN) | Fy (kN) | Mz (kN-m) |
|-----------|-----------------------|-------|-----------|---------|-----------|
| Lantai 20 | <i>Hidup + Mati</i> | C1 | -235,97 | -6,88 | -0,53 |
| | | C2 | -558,59 | -215,14 | -35,74 |
| | <i>Gempa</i> | C1 | 727,54 | 13,71 | 15,56 |
| | | C2 | 166,24 | 159,16 | 154,74 |
| | <i>Statik + gempa</i> | C1 | -2868,06 | -56,16 | -19,46 |
| | | C2 | 1229,55 | 1195,59 | 472,44 |
| Lantai 15 | <i>Hidup + mati</i> | C1 | -3190,43 | -23,64 | -1,59 |
| | | C2 | -4797,18 | -244,06 | -20,88 |
| | <i>Gempa</i> | C1 | 8565,10 | 48,15 | 97,54 |
| | | C2 | 1244,38 | 188,72 | 220,40 |
| | <i>Statik + gempa</i> | C1 | 7949,74 | 82,23 | 197,09 |
| | | C2 | 9665,63 | 1521,88 | 711,26 |
| Lantai 10 | <i>Hidup + Mati</i> | C1 | -7333,05 | -42,02 | 2,46 |
| | | C2 | -9483,47 | -216,27 | -21,80 |
| | <i>Gempa</i> | C1 | 13602,67 | 164,62 | 304,58 |
| | | C2 | 2380,99 | 180,34 | 296,58 |
| | <i>Statik + gempa</i> | C1 | 57081,84 | 707,57 | 1701,78 |
| | | C2 | 19651,50 | 1508,44 | 1589,42 |
| Lantai 5 | <i>Hidup + Mati</i> | C1 | -12111,32 | -58,46 | 17,99 |
| | | C2 | -14581,33 | -221,07 | -3,60 |

| | | | | |
|-----------------------|----|-----------|---------|---------|
| <i>Gempa</i> | C1 | 23447,67 | 465,80 | 769,17 |
| | C2 | 3291,85 | 166,38 | 534,73 |
| <i>Statik + gempa</i> | C1 | 107786,17 | 1959,96 | 5443,95 |
| | C2 | 27917,37 | 1310,95 | 4257,66 |

Berdasarkan nilai gaya dalam kolom pada berbagai kombinasi beban didapatkan gaya dalam kolom horizontal (Fx) mempunyai nilai gaya tertinggi pada lantai 5 C1 dengan kombinasi beban statis dan dinamis sebesar $1,07 \times 10^5$ kN. Pada kolom C2, gaya Fx terbesarnya terjadi pada lantai 5 dengan total gayanya $2,79 \times 10^4$ kN. Kemudian pada arah vertikal (Fy) didapatkan hasil terbesarnya menggunakan kombinasi beban statis dan gempa pada kolom C1 di lantai 5 sebesar 1959,96 kN. Berikutnya kolom C2 nya pada lantai 15 sebesar 1521,88 kN. Pada bagian momen didapatkan momen terbesar pada lantai 5 kolom C1 dengan kombinasi beban statis dan gempa sebesar 5443,95 kN-m, dan pada

kolom C2 lantai 5 sebesar 4257,66 kN-m.

Didapatkan nilai pada gaya dalam balok menggunakan 3 kombinasi beban, dimana diambil sampel pada balok B40 dan B53 pada lantai 15, lalu balok B40 dan B53 pada lantai 6, yang berdasarkan gaya Fx nilai gaya dalam terbesar didapat pada lantai 6 balok B53 dengan kombinasi beban statis dan gempa sebesar 80,23 kN. Untuk gaya Fy didapatkan nilai tertinggi pada lantai 15 balok B53 dengan kombinasi beban statis dan gempa sebesar 3870,06 kN dan momen terbesar pada lantai 15 balok B53 dengan kombinasi beban statis dan gempa sebesar 793,46 kN-m. Nilai base shear dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Data Perolehan Gaya dalam dari Balok

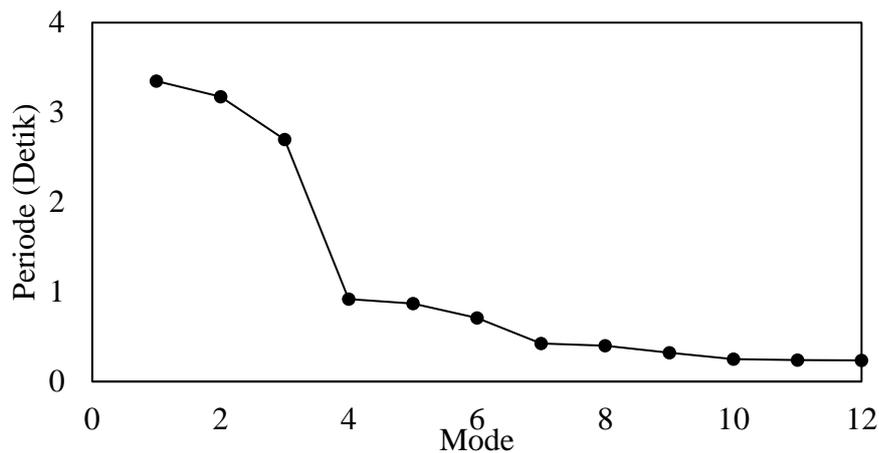
| Kolom | L/C | Node | Fx (kN) | Fy (kN) | Mz (kN-m) |
|----------|-------------------------|------|---------|---------|-----------|
| Story 15 | <i>Live + Dead</i> | B40 | 0 | 9,72 | 35,43 |
| | | B53 | 0 | 194,46 | 261,54 |
| | <i>Seismic Loads</i> | B40 | 12,40 | 72,33 | 39,97 |
| | | B53 | 77,57 | 623,16 | 688,68 |
| | <i>Static + Seismic</i> | B40 | 15,67 | 91,45 | -47,66 |
| | | B53 | 78,04 | 3870,05 | 793,46 |
| Story 6 | <i>Live + Dead</i> | B40 | 0 | 6,22 | 40,89 |
| | | B53 | 0 | 142,58 | 260,50 |
| | <i>Seismic Loads</i> | B40 | 12,81 | 59,29 | 30,98 |
| | | B53 | 80,15 | 509,04 | 550,46 |
| | <i>Static + Seismic</i> | B40 | 13,35 | 70,05 | -55,18 |
| | | B53 | 80,23 | 3140,52 | 690,88 |

Tabel 8. *Base Shear*

| | | | |
|-----------|----------|-------------------|------|
| Elx (Sta) | 14065,08 | Faktor = | |
| Rzx (dy) | 14065,10 | 14605,08/14605,09 | 0,99 |
| Elx (Sta) | 14065,08 | Faktor = | |
| Rzx (dy) | 14065,12 | 14605,08/14605,12 | 0,99 |

Berdasarkan perhitungan geser dasar hasil analisis didapatkan nilai perbandingan antara beban statis dan beban dinamis, pada arah x didapatkan nilai statisnya 14065,08 kN dan nilai dinamisnya 14065,09 sehingga perbandingan statis dan dinamisnya sebesar 0,99 yang ekuivalen dengan 1. Pada arah y didapatkan nilai statisnya 14065,08 kN dan nilai dinamisnya

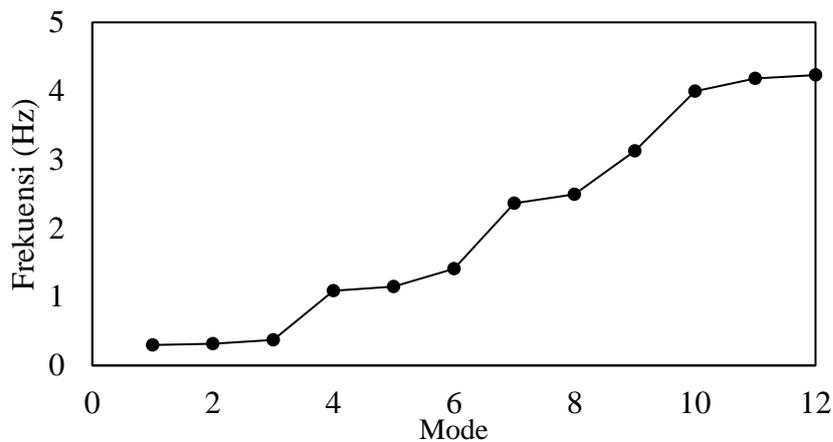
14605,12 kN sehingga nilai perbandingan antara beban statis dengan beban dinamisnya sebesar 0,99. Maka dari itu untuk nilai geser dasar pada model bangunan ini telah memenuhi persyaratan nilai berdasarkan SNI 1726-2019 yang mengacu terhadap nilai V dinamik $\geq 0,85 V$ statis, sebagai persyaratan nilai kontrol untuk nilai akhir spektrum.



Gambar 4. Grafik *Mode shape vs Period*

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh bahwa semakin besar urutan ragam getar maka nilai time period akan terus mengalami penurunan detik. Pada ragam getar 1 nilai periodenya terbesar yakni 3,34 detik, periode ragam getar 2 sebesar 3,17 detik. Ragam getar 3 turun menjadi 2,69 detik, pada ragam getar 4 mengalami penurunan drastis menjadi 0,91 detik. Periode ragam getar 5

sebesar 0,87 detik, dan ragam getar 6 turun menjadi 0,71 detik. Pada ragam getar 7 turun menjadi 0,42 detik dan pada ragam getar 8 turun menjadi 0,40 detik. Periode ragam getar 9 sebesar 0,32 detik dan pada ragam getar 10 turun menjadi 0,25 detik. Periode ragam getar 11 sebesar 0,23 detik dan terakhir pada ragam getar 12 turun menjadi 0,23 detik dan menjadi nilai periode terkecil.



Gambar 5. Grafik Mode Vs Frekuensi

Berdasarkan grafik Gambar 5 diperoleh bahwa semakin besar urutan ragam getar maka nilai frekwensi akan semakin tinggi nilainya. Pada ragam getar 1 nilai frekuensi terendah yakni 0,29 Hertz, pada ragam getar 2 naik menjadi 0,31 Hertz. Nilai frekuensi ragam getar 3 naik menjadi 0,37 Hertz, pada ragam getar 4 mengalami kenaikan drastis menjadi 1,08 Hertz. Nilai frekuensi ragam getar 5 naik menjadi 1,15 Hertz, pada ragam getar 6 naik menjadi 1,41 Hertz. Frekuensi ragam getar 7 mengalami kenaikan drastis menjadi 2,36 Hertz, pada ragam getar 8 naik menjadi 2,49 Hertz. Frekuensi ragam getar 9 mengalami kenaikan drastis menjadi 3,12 Hertz, pada ragam getar 10 mengalami kenaikan drastis menjadi 3,99 Hertz. Nilai frekuensi ragam getar 11 naik menjadi 4,18 Hertz, terakhir pada ragam getar 12 naik menjadi 4,23 Hertz dan menjadi nilai frekuensi tertinggi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode respon spektrum

dari bangunan perkantoran dan apartemen 20 lantai, didapatkan perubahan struktur bangunan di setiap titiknya, dimana dalam perhitungannya menggunakan percepatan pergeseran arah horizontal dari gempa dengan percepatan tanah puncak (PGA) dengan total waktu getaran selama 8 detik. Beberapa titik struktur bangunan dipilih sebagai sampel untuk mengetahui respon dan perubahannya.

Data perolehan *displacement* akhir dengan kombinasi beban (statis dan gempa) mengalami kenaikan dari lantai 1 hingga lantai 7, kemudian mengalami sedikit penurunan pada lantai 8 dan selanjutnya mengalami kenaikan hingga lantai 20. Untuk nilai *drift* mengalami kenaikan dari lantai 1 hingga lantai 7, lalu menurun pada lantai 8, dan mengalami lonjakan nilai *drift* pada lantai 9. Nilai mengalami penurunan pada 10 dan terus meningkat hingga lantai 14. Kemudian mengalami penurunan nilai *drift* dari lantai 15 hingga lantai 20, dimana puncak *drift* tertinggi pada lantai 9. Hasil analisa yang didapat pada lantai 1 hingga lantai

8 telah memenuhi standar dari nilai *drift*, namun pada lantai 9 hingga lantai 20 tidak memenuhi standar *drift*.

Perbandingan tegangan geser dasar didapatkan hasil yang hampir sama antara arah x dengan arah y. Lalu untuk perbandingan antara ragam getar dan periode mengalami penurunan nilai, sedangkan untuk nilai frekuensinya mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan ragam getarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdu, M., dkk., 2024, Analisis Perencanaan Bangunan Rumah Sakit Ibu dan Anak Mohammad Yamin Berdasarkan SNI Gempa 1726-2019. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, Volume 8 Nomor 1 Tahun 2024: 4624-4636.
- Afriandini, B., Sari, C.A., & Suksmono, A.K., 2022, *Perbandingan Gaya Geser Dasar Seismik di Pulau Jawa Menggunakan Metode Respon Spektrum*. *Jurnal RAB Construction Research (Jurnal RACIC)*, 140-151.
- Afrida, I., Wahyuningtyas, W.T., & Krisnamurti, 2020, *Analisis Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum*. *Berkala Sainstek*, VIII (4): 132-139.
- Annisa, A., Oka, I.M., & Turu'allo, G., 2020, *Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekuivalen dan Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726-2012*. *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, 34-50.
- Bayyinah, D.A.L.N., dan Faimun, 2017, *Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan Time History untuk Desain Gedung*. *Jurnal Teknik ITS*, Vol 6, No 1, 2017.
- Harahap, M.F., & Fauzan, M., 2019, *Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa*. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 195-206. Vol. 04 No. 03, Desember 2019.
- Hassaballa, A.E., Adam, F.M., Ismaeil, M.A., 2013, *Seismic Analysis of a Reinforced Concrete Building by Response Spectrum Method*. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, Vol. 3, Issue 9 (September. 2013), ||V3|| PP 01-09.
- Hilmi, M., E rizal, & Febrita, J., 2021, *Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019*. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 143-158.
- Indera, E., Januarto, Prayitno, P., & Fauzan, 2022, *Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisa Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs Versi 2013*. *Zona Teknik: Jurnal Ilmiah*, 443-451.
- Mawarti, R., Langga, D., Yasin, M.A.I., 2022, *Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Respon Spektrum (Studi Kasus : Zona 2 Apartemen Yogyakarta)*. *Rekayasa dan*

- Inovasi Teknik Sipil, Vol 7, No 1, 2022.
- Prismastanto, N., 2019, *Metode Analisis Ragam Spektrum Respons Pada Struktur Gedung Bertingkat (Studi Kasus Hotel Tosan, Solo Baru)*. Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS) Volume 1, No 1, 2019
- Rafsanjani, A., & Kurnia, F., 2021, *Analisa Kekuatan Bangunan Terhadap Gaya Gempa Dengan Metode Linear Respon Spektrum*. Jurnal Artesis, 52-57.
- Silaban, G.T., Tampubolon, S.P., Mulyani, A.S., & Felestin, 2023, *Performance Evaluation of High-rise Buildings with Response Spectrum Analysis and Time History Analysis*. Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, 84-95.
- Suntoko, H., Marwanto, A., Iswanto, E.R., 2019, *Analisis Spektrum Respon Desain Gedung Reaktor RDE menggunakan SAP2000*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 21, No.1, (2019) 1 – 7.
- Tanii, A., dkk., 2023, Keefektifan Penempatan Dinding Geser Bangunan Tingkat Tinggi Dalam Mengurangi Simpangan Sturtur. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 12, No. 1, 2023.
- Trangipani, N.M., dkk., 2022, Analisis Perilaku Struktur Gedung Sekolah Dengan Metode Respon Spektrum Studi Kasus: Sman 9 Denpasar. Jurnal Ilmiah Teknik Unmas, Vol. 2, No. 1, 2022.
- Ulhad, D., dkk., 2024, Analisis Kerusakan Struktur Dan Manajemen Bencana Pasca-Gempa Di Cihampelas, Bandung. Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi, Vol 2 (7): 389–40.