

Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Menggunakan Analisis Dinamik Respon Spektrum (Studi Kasus: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro)

Masrifatun Fadzilah¹⁾

Hasti Riakara Husni²⁾

Bayzoni³⁾

Mohd. Isneini⁴⁾

Abstract

Indonesia is an area with a high level of earthquake vulnerability. One of the efforts to anticipate these impacts is to meet the needs of earthquake-resistant buildings. In this case, it is necessary to carry out a comprehensive planning and evaluation of earthquake-resistant buildings by taking into account the lateral forces caused by earthquake loads in accordance with the latest regulations. This research takes a case study in Building B of the Muhammadiyah Metro General Hospital. In planning, the structure of the building still uses the old regulations, namely SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, and SNI 2847-2013. Meanwhile, currently the latest planning standards have been implemented, namely SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, and SNI 2847-2019, so it is necessary to evaluate the strength of the structure using the latest regulations. This study aims to compare the results of evaluating the strength of high-rise buildings due to the influence of earthquake loads and without earthquake loads using the dynamic response spectrum analysis method. Based on the results of the study, it was concluded that the building structure was not strong enough to withstand earthquake loads, and there was a significant difference between conditions without earthquake loads and with the influence of earthquake loads.

Keywords: Response Spectrum Analysis, Earthquake Resistant Building, Evaluation of Structural Strength

Abstrak

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Salah satu upaya untuk mengantisipasi dampak tersebut adalah dengan memenuhi kebutuhan bangunan tahan gempa. Dalam hal ini perlu dilakukan perencanaan dan evaluasi yang menyeluruh terhadap bangunan tahan gempa dengan memperhitungkan gaya lateral yang diakibatkan oleh beban gempa sesuai dengan peraturan terbaru. Penelitian ini mengambil studi kasus pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro. Dalam perencanaannya, struktur gedung tersebut masih menggunakan peraturan lama yaitu SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, dan SNI 2847-2013. Sedangkan untuk saat ini telah diberlakukan standar perencanaan terbaru yaitu SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, dan SNI 2847-2019, sehingga perlu dilakukan evaluasi kekuatan struktur dengan menggunakan peraturan terbaru tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil evaluasi kekuatan struktur gedung bertingkat akibat pengaruh beban gempa dan tanpa beban gempa menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa struktur gedung tidak cukup kuat untuk menahan beban gempa, dan terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi tanpa beban gempa dan dengan pengaruh beban gempa.

Kata Kunci : *Analisis Respon Spektrum, Bangunan Tahan Gempa, Evaluasi Kekuatan Struktur*

¹⁾ Mahasiswa pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Surel: rifafadzilah@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di dunia yang memiliki tingkat perkembangan penduduk yang tinggi. Dengan tingginya tingkat perkembangan penduduk maka kebutuhan akan pelayanan kesehatan juga semakin meningkat, oleh karena itu diperlukan adanya peningkatan pada sarana dan prasana kesehatan yaitu dengan pembangunan Rumah Sakit. Dalam perencanaannya, Rumah Sakit harus didesain untuk memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh beban luar yang terjadi, salah satunya yaitu pengaruh beban gempa.

Gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang diakibatkan karena adanya pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba pada permukaan bumi yang dapat menghasilkan gelombang seismik. (Suharjanto, 2013). Secara geografis, Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi, hal ini dikarenakan wilayah Indonesia terletak di antara tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Aktivitas tektonik yang terjadi menyebabkan terbentuknya rangkaian gunung berapi yang tersebar di kawasan Asia Pasifik, termasuk Indonesia, sehingga wilayah Indonesia termasuk dalam bagian zona cincin api pasifik. Zona ini merupakan lempeng tektonik teraktif di dunia, sehingga dapat memberikan dampak yang besar terhadap distribusi penyebaran gempa bumi di Indonesia. (Amri *et al.*, 2018).

Peristiwa gempa bumi dapat mengakibatkan kerusakan yang cukup berat pada infrastruktur dan bangunan khususnya bangunan bertingkat. Hal tersebut disebabkan karena infrastruktur dan bangunan tidak mampu mempertahankan strukturnya ketika terjadi gempa bumi, oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk meminimalisir kerusakan tersebut, yaitu dengan cara memenuhi kebutuhan akan bangunan yang tahan akibat pengaruh beban gempa. Dalam hal ini perlu dilakukan perencanaan dan evaluasi yang menyeluruh terhadap bangunan tahan gempa dengan memperhitungkan gaya lateral yang diakibatkan oleh beban gempa sesuai dengan standar peraturan terbaru.

Penelitian ini dilakukan pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro. Peraturan yang digunakan dalam perancangan gedung ini yaitu SNI 1726 (2012), SNI 1727 (2013), dan SNI 2847 (2013). Sedangkan untuk saat ini telah diberlakukan standar perencanaan struktur gedung terbaru yaitu SNI 1726 (2019), SNI 1727 (2020), dan SNI 2847 (2019). Mengingat pentingnya fungsi gedung Rumah Sakit, maka perlu dilakukan evaluasi struktur gedung dengan menggunakan peraturan terbaru untuk mengetahui kelayakan struktur gedung tersebut.

Analisis yang digunakan untuk menentukan ketahanan struktur bangunan terhadap beban gempa yaitu dengan menggunakan analisis dinamik respon spektrum. Analisis dinamik untuk perancangan tahan gempa dilakukan untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur gedung tingkat tinggi. (Prismastanto, 2019). Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program ETABS dan untuk evaluasi kekuatan struktur menggunakan bantuan program *SPCcolumn* dan Microsoft Excel.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Pada umumnya gedung bertingkat merupakan perpaduan dari beberapa jenis sistem struktur. Berdasarkan SNI 1726 (2019) sistem struktur meliputi: (1) Sistem dinding

penumpu; (2) Sistem rangka gedung; (3) Sistem rangka pemikul momen; (4) Sistem ganda; (5) Sistem kolom kantilever.

2.2. Elemen Struktur

Elemen struktur pada suatu bangunan bekerja secara estafet dalam mendistribusikan beban dari *upper structure* (struktur atas) menuju ke *lower structure* (struktur bawah). Elemen struktur yang termasuk ke dalam struktur atas yaitu balok, pelat, dan kolom. Sedangkan struktur bawah yaitu pondasi.

2.3. Pembebanan

Beban-beban yang digunakan dalam penelitian ini yaitu beban hidup (LL), beban mati yang terdiri dari beban mati sendiri (DL) dan beban mati tambahan (SDL), serta beban gempa. Untuk ketentuan pembebanan mengacu pada SNI 1727 (2020). Adapun untuk beban gempa dan kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1726 (2019).

2.4. Analisis Dinamik

Analisis dinamik merupakan salah satu jenis analisis struktur dimana distribusi gaya geser seismik pada berbagai tingkatan diperoleh dengan mempertimbangkan dampak dinamik gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi dua metode, yaitu analisis dinamik respon spektrum dan riwayat waktu. (Purnomo *et al.*, 2014)

2.5. Tinjauan Struktur Terhadap Gempa

2.5.1. Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai dengan Tabel 3 SNI 1726 (2019) pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) yang diperoleh berdasarkan kategori risiko daerah yang dianalisis dan ditentukan pada Tabel 4 SNI 1726 (2019).

2.5.2. Klasifikasi Situs

Dalam perumusan desain seismik sebuah bangunan, maka situs tersebut harus digolongkan terlebih dahulu. Pengklasifikasian situs ditentukan pada Tabel 5 SNI 1726 (2019), berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang dilakukan di lapangan dan di laboratorium.

2.5.3. Respon Spektral Percepatan

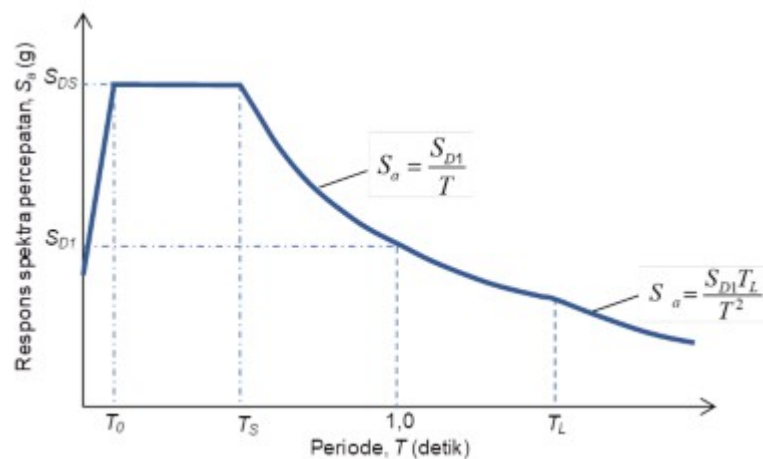
Untuk menentukan tingkat kerawanan suatu daerah terhadap risiko gempa bumi dapat ditunjukkan melalui respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode 0,2 detik dan periode 0.1 detik sesuai pasal 6.1.2 SNI 1726 (2019) dan mengacu pada peta wilayah gempa.

2.5.4. Koefisien Situs

Koefisien situs ditentukan berdasarkan jenis tanah yang ada di lapangan, kemudian untuk nilainya mengacu pada ketentuan Tabel 6 dan Tabel 7 SNI 1726 (2019).

2.5.5. Spektrum Respon Desain

Berdasarkan kategori risiko dan parameter-parameter respon spektra percepatan desain, diperoleh kategori desain seismik dan grafik respon spektrum. Untuk penetapan kategori desain seismik mengacu pada Tabel 8 dan Tabel 9 SNI 1726 (2019). Sedangkan untuk grafik respon spektrum dapat ditentukan dengan mengikuti ketentuan pada pasal 6.4 SNI 1726 (2019) dan mengacu pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum Respon Desain
(SNI-1726 2019)

2.6. Kontrol Dinamis Struktur

Hasil analisis struktur harus diperiksa terhadap batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726 (2019) untuk menentukan kelayakan struktur tersebut akibat adanya pengaruh beban gempa, adapun hal-hal yang harus diperiksa meliputi: (1) Kontrol periode fundamental gedung; (2) Kontrol rasio partisipasi massa; (3) Kontrol gaya geser dasar; (4) Kontrol *Dual system*; (5) Kontrol simpangan antar lantai.

2.7. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur dihitung untuk mengetahui kelayakan struktur bangunan terhadap beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Dalam evaluasi kekuatan struktur persyaratan kekuatan elemen struktur harus dipenuhi sesuai dengan peraturan pada SNI 2847 (2019) yaitu kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi $\phi S_n \geq U$ meliputi pengecekan nilai momen, geser, torsi dan beban aksial.

3. METODOLOGI

3.1. Pendekatan Penelitian

Berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu untuk membandingkan hasil evaluasi kekuatan struktur bangunan bertingkat akibat pengaruh beban gempa dan tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum, maka pendekatan penelitian yang digunakan yaitu pendekatan kuantitatif, karena dalam penarikan kesimpulan dirumuskan berdasarkan hasil analisis berupa data-data numerik.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro yang berlokasi di Jl. Soekarno Hatta No.42, Mulyojati, Kec. Metro Barat, Kota Metro, Lampung.

3.3. Data Penelitian

Data umum penelitian yang digunakan yaitu:

Nama gedung	: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro
Fungsi	: Rumah Sakit
Jenis tanah	: Tanah sedang
Luas bangunan	: $\pm 7.467 \text{ m}^2$
Tinggi bangunan	: 31 m

Jumlah lantai : 7 lantai dengan 1 *basement*
Material Struktur : Beton bertulang
Sistem struktur : *Dual system*

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan yaitu SNI 1726 (2019) tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, SNI 1727 (2020) tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 2847 (2019) tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, serta jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis dinamik respon spektrum dan evaluasi kekuatan struktur gedung beton bertulang.

3.4.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa *Shop Drawing* Rumah Sakit dan data tanah.

3.4.3. Pemodelan 3D

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan program ETABS dan mengacu pada data serta informasi pada *shop drawing* Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro.

3.4.4. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan struktur dilakukan menggunakan program ETABS dengan memasukkan beban-beban yang bekerja pada struktur yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa. Untuk beban gempa dianalisis dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum.

3.4.5. Analisis Struktur

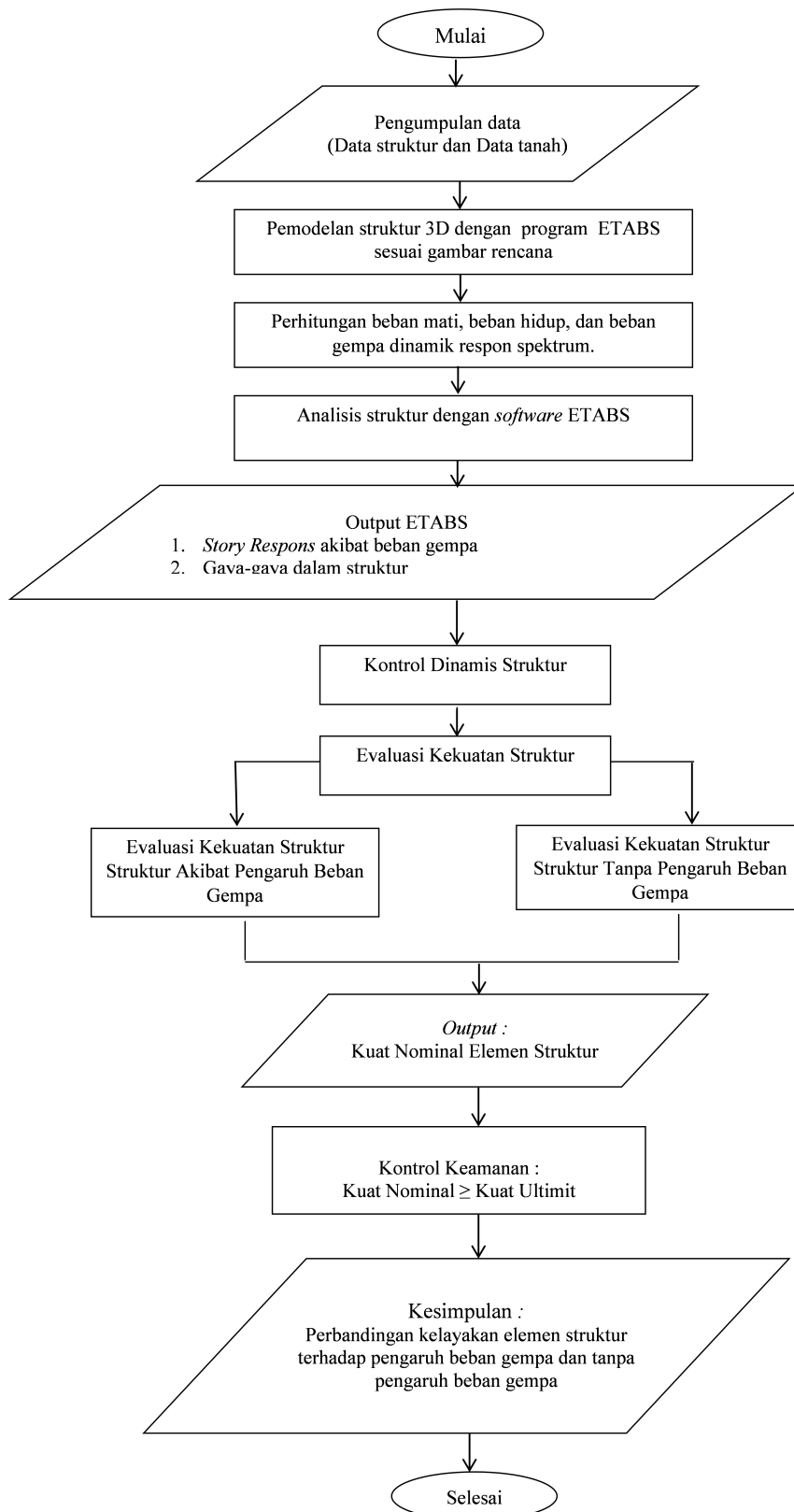
Analisis struktur bertujuan untuk mengetahui gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur dan untuk memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*serviceability*), dan stabilitas struktur. Dari proses analisis struktur yang dilakukan diperoleh *output* berupa *story respons* akibat pengaruh beban gempa dan gaya-gaya dalam yang terdapat pada struktur. Setelah diperoleh *output* tersebut maka akan dilakukan evaluasi terhadap syarat-syarat perhitungan kekuatan struktur.

3.4.6. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur bertujuan untuk mengetahui kelayakan struktur terhadap pengaruh beban gempa. Dalam evaluasi kekuatan struktur akibat beban gempa dilakukan kontrol dinamis berdasarkan batasan-batasan pada SNI 1726 (2019) yaitu kontrol rasio partisipasi massa, kontrol periode fundamental struktur, kontrol gaya geser dasar, kontrol *dual system*, dan kontrol terhadap simpangan antar lantai (*drift*).

Setelah dilakukan kontrol dinamis struktur, selanjutnya yaitu kontrol terhadap elemen struktur sesuai dengan ketentuan pada SNI 2847 (2019). Dalam hal ini, struktur yang ditinjau yaitu struktur balok, kolom dan pelat. Untuk evaluasi kekuatan struktur pada kolom dilakukan dengan menggunakan *software SPColumn*. Evaluasi ini dilakukan dalam dua kondisi, yaitu tanpa pengaruh beban gempa dan dengan adanya pengaruh beban gempa. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan kelayakan strukturnya.

3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

4.1.1. Spesifikasi Material

Spesifikasi material yang digunakan dalam pemodelan struktur yaitu:

- (1) Mutu beton pada kolom adalah K350;
- (2) Mutu beton pada balok dan pelat adalah K300;
- (3) Baja tulangan yang digunakan yaitu BJTD40.

4.1.2. Spesifikasi Elemen Struktur

4.1.2.1. Balok

Struktur balok pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro, diameter tulangan utama yang digunakan adalah D19 dan D16, dengan sengkang D10 dan tulangan torsi D13. Jarak sengkang yang digunakan adalah 100 mm pada daerah tumpuan dan 150 mm pada daerah lapangan. Data dimensi dan tipe balok dapat dilihat dari Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Balok

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1.	TB1	400 x 700
2.	TB2	200 x 400
3.	B1	400 x 700
4.	B2	250 x 550
5.	B5	400 x 600

4.1.2.2. Kolom

Struktur kolom pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro, menggunakan tulangan utama dengan diameter D25, D19, dan D16, dengan sengkang D13-100 pada daerah tumpuan dan D13-150 pada daerah lapangan. Data dimensi dan tipe kolom dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1.	K1	800 x 800
2.	K2	400 x 800
3.	K3	600 x 600

4.1.2.3. Pelat

Detail tulangan yang dipasang pada pelat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Detail Tulangan Pelat

No	Tipe Pelat	Dimensi (mm)	Tulangan X	Tulangan Y
1.	S1	T = 130	D10-150	D10-150
2.	S2	T = 120	D10-150	D10-150
3.	S4	T = 300	D16-200	D16-200

4.2. Pembebanan Struktur

Pembebanan yang digunakan dalam pemodelan struktur berupa beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*) dan beban gempa. Analisis beban gempa menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum dengan memperhatikan kelas situs tanah yang diperoleh dari nilai N-SPT.

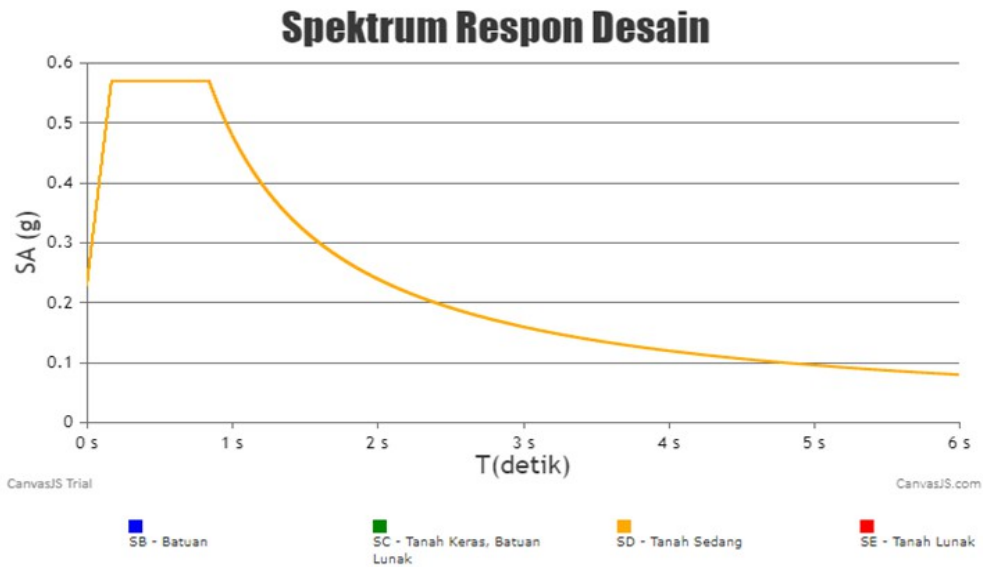
Tabel 4. Pembebanan pada Struktur

No	Jenis Beban	Berat
1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>) - Berat sendiri beton	24 kN/m ³
2	Beban Mati Tambahan (<i>Super Dead Load</i>) - Beban sendiri dinding	8,25 kN/m ²
	Beban Mati Pelat Lantai	
	- Beban <i>plafond</i> dan rangka	0,18 kN/m ²
	- Beban <i>finishing</i> (keramik, <i>floor hardener</i> , dst)	0,66 kN/m ²
	- Berat Mekanikal, Elektrikal, dan <i>Plumbing</i>	0,20 kN/m ²
	Total	1,040 kN/m²
	Beban Mati Pelat Atap	
	- Beban <i>plafond</i> dan rangka	0,18 kN/m ²
	- Beban <i>finishing</i> (keramik, <i>floor hardener</i> , dst)	0,21 kN/m ²
	- Berat Mekanikal, Elektrikal, dan <i>Plumbing</i>	0,20 kN/m ²
	Total	0,59 kN/m²
3	Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	
	- Koridor	3,83 kN/m ²
	- Ruang operasi	2,87 kN/m ²
	- Ruang pasien	1,92 kN/m ²
	- Tempat parkir	1,92 kN/m ²
	- Tangga	4,79 kN/m ²

Selain pembebanan di atas, terdapat beban lateral berupa beban gempa. Beban gempa diperoleh dari perhitungan analisis dinamis dengan menggunakan data yang tersedia di halaman <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021> dengan acuan SNI 1726 (2019). Beban gempa kemudian dimasukkan pada kombinasi pembebanan dalam program ETABS.

Fungsi Bangunan : Rumah Sakit
 Lokasi : Metro
 Klasifikasi Situs : Tanah Sedang (SD)
 Kategori Risiko Bangunan : IV
 Faktor Keutamaan (*I_e*) : 1,50
 *Nilai *S₁* : 0,3762 g
 *Nilai *S_s* : 0,6930 g
SD_s : 0,5755
SD₁ : 0,4825
KDS : D

(*Sumber: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021> berdasarkan SNI-1726 2019)



Gambar 3. Respon Spektrum Desain Tanah Lokasi Bangunan

4.3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada ketentuan SNI 1726 (2019) Pasal 7.4.2. Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan meliputi:

- (1) 1,4D;
- (2) 1,2D + 1,6L + 0,5Lr;
- (3) 1,2D + 1,6Lr + L;
- (4) 1,2D + 1,0L + 0,5Lr;
- (5) 0,9D;
- (6) $1,3151 D \pm 1,3 Ex \pm 0,39 Ey + 1 L$;
- (7) $0,7849 D \pm 0,39 Ex \pm 1,3 Ey$.

4.4. Analisis Struktur

Dari hasil analisis struktur balok, diperoleh perbedaan yang signifikan antara gaya dalam saat kondisi tanpa pengaruh beban gempa dan dengan adanya pengaruh beban gempa. Untuk perbedaan nilai momen pada kondisi tanpa beban gempa dan dengan beban gempa terjadi perubahan dengan rata-rata sebesar 8 kali lipat. Untuk gaya geser terjadi perubahan rata-rata sebesar 3 kali lipat. Dan untuk torsi terjadi perubahan rata-rata sebesar 8 kali lipat.

Dari hasil analisis struktur kolom, diperoleh adanya perbedaan antara gaya dalam saat kondisi tanpa pengaruh beban gempa dan dengan adanya pengaruh beban gempa. Untuk perbedaan nilai beban aksial pada kondisi tanpa beban gempa dan dengan beban gempa terjadi perubahan dari 2 – 4 kali lipat. Untuk momen terjadi perubahan dari 3 – 20 kali lipat. Dan untuk gaya geser terjadi perubahan sebesar 3 - 15 kali lipat. Akibat adanya pembesaran gaya-gaya dalam tersebut, maka dibutuhkan evaluasi untuk mengetahui apakah struktur mampu menahan beban gempa yang terjadi.

4.5. Kontrol Respon Dinamis Struktur

Kontrol dinamis struktur harus dilakukan sesuai batasan yang terdapat pada SNI 1726 (2019). Pengecekan dilakukan secara manual terhadap analisis gempa respon spektrum yang dilakukan oleh ETABS. Kontrol respon dinamis struktur yang dilakukan meliputi:

(1) Kontrol rasio partisipasi massa; (2) Kontrol periode fundamental stuktur; (3) Kontrol gaya geser dasar; (4) Kontrol *Dual system*, dan (5) Kontrol simpangan antar lantai.

4.6. Evaluasi Kekuatan Struktur

4.6.1. Evaluasi Kekuatan Struktur Balok

Pemeriksaan elemen balok yang dilakukan yaitu pengecekan kuat rancang dan syarat SRPMK struktur balok, setelah itu membandingkan luasan tulangan balok yang diperlukan terhadap tulangan balok terpasang. Hasil pengecekan kekuatan struktur balok dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Kuat Nominal Tulangan Balok Tanpa Beban Gempa

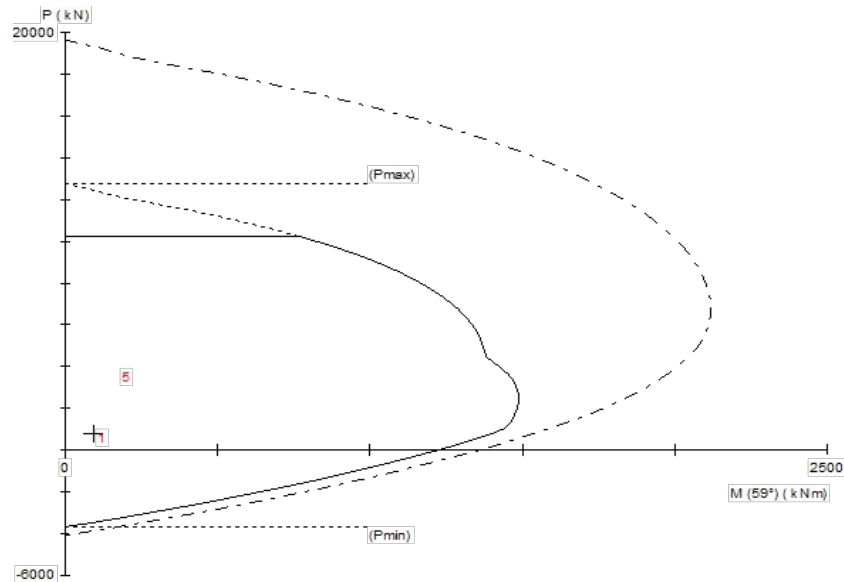
Jenis Balok	Lokasi	Mu (kNm)	ØMn (kNm)	Pesentase Perbedaan	Ket
B1	Tumpuan Atas	370,0700	256,9990	31%	NOT OK
	Tumpuan Bawah	64,7497	256,9990	75%	OK
	Lapangan Atas	43,7732	256,9990	83%	OK
	Lapangan Bawah	208,4497	256,9990	19%	OK
B2	Tumpuan Atas	168,7299	105,1356	38%	NOT OK
	Tumpuan Bawah	55,2948	105,1356	47%	OK
	Lapangan Atas	86,3023	105,1356	18%	OK
	Lapangan Bawah	68,9951	105,1356	34%	OK
B5	Tumpuan Atas	311,6925	360,1258	13%	OK
	Tumpuan Bawah	30,1306	259,9125	88%	OK
	Lapangan Atas	15,3070	268,3074	94%	OK
	Lapangan Bawah	193,3566	268,3074	28%	OK

Tabel 6. Kuat Nominal Tulangan Balok dengan Beban Gempa

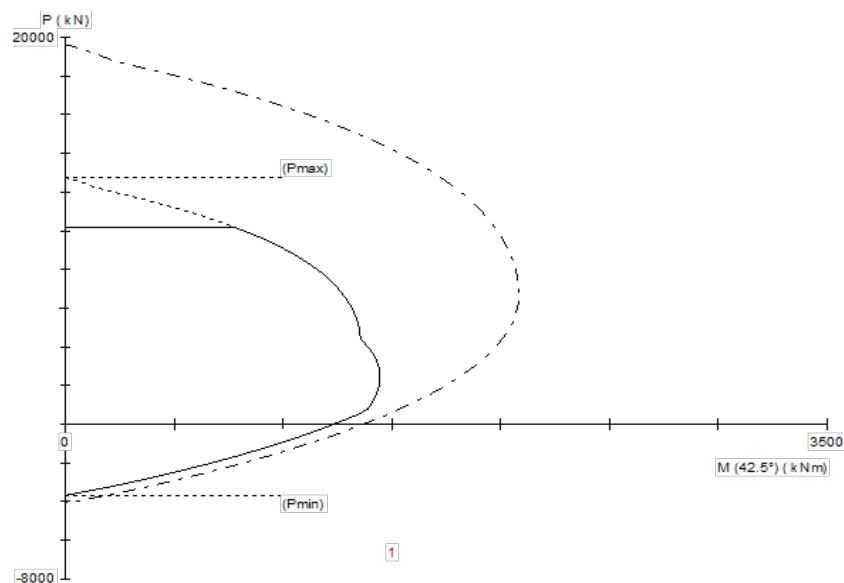
Jenis Balok	Lokasi	Mu (kNm)	ØMn (kNm)	Persentase Perbedaan	Ket
B1	Tumpuan Atas	1812,2010	256,9990	86%	NOT OK
	Tumpuan Bawah	1806,3942	256,9990	86%	NOT OK
	Lapangan Atas	794,3533	256,9990	68%	NOT OK
	Lapangan Bawah	830,2024	256,9990	69%	NOT OK
B2	Tumpuan Atas	413,9266	105,1356	75%	NOT OK
	Tumpuan Bawah	312,8394	105,1356	66%	NOT OK
	Lapangan Atas	163,7306	105,1356	36%	NOT OK
	Lapangan Bawah	169,1935	105,1356	38%	NOT OK
B5	Tumpuan Atas	358,9520	360,1258	0,3%	OK
	Tumpuan Bawah	73,4450	259,9125	72%	OK
	Lapangan Atas	57,1858	268,3074	79%	OK
	Lapangan Bawah	185,9596	268,3074	31%	OK

4.6.2. Evaluasi Kekuatan Struktur Kolom

Pemeriksaan elemen kolom yang dilakukan yaitu pengecekan beban aksial dan kuat nominal kolom dengan *software SPColumn*, pengecekan syarat SRPMK kolom yang mengacu pada SNI 2847 (2019), dan membandingkan kebutuhan tulangan kolom terpasang terhadap tulangan kolom yang diperlukan. Hasil evaluasi kekuatan struktur kolom berupa diagram interaksi P-M dapat dilihat pada Gambar 4. dan Gambar 5.



Gambar 4. Diagram Interaksi P-M Kolom Pot. A Tanpa Beban Gempa



Gambar 5. Diagram Interaksi P-M Kolom Pot. A dengan Beban Gempa

4.6.3. Evaluasi Kekuatan Struktur Pelat

Dalam pengecekan elemen pelat, kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1,2D + 1,6 L. Pelat yang diperiksa merupakan pelat dua arah dan telah memenuhi syarat ketebalan minimum sesuai dengan SNI 2847 (2019). Untuk pengecekan kuat nominal

pelat menggunakan metode amplop dengan mengacu pada PBI (1971). Adapun hasil dari pengecekan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kuat Nominal Tulangan Pelat

Tipe Pelat	Lokasi	Mu (kNm)	ΦM_n (kNm)	Keterangan
S1	Lapangan Arah X	3,1475	18,8594	OK
	Lapangan Arah Y	3,1475	18,8594	OK
	Tumpuan Arah X	-3,1475	18,8594	OK
	Tumpuan Arah Y	-3,1475	18,8594	OK
S2	Lapangan Arah X	1,6088	16,9744	OK
	Lapangan Arah Y	1,8468	16,9744	OK
	Tumpuan Arah X	-1,6088	16,9744	OK
	Tumpuan Arah Y	-1,8468	16,9744	OK
S3	Lapangan Arah X	17,4182	96,0876	OK
	Lapangan Arah Y	17,4182	96,0876	OK
	Tumpuan Arah X	-43,1309	96,0876	OK
	Tumpuan Arah Y	-43,1309	96,0876	OK

4.7. Perbandingan dengan Penelitian Lain

Pada penelitian Wafi *et al.* (2021), yang dilakukan di daerah Bandar Lampung dengan mengambil studi kasus pada Gedung Rumah Sakit Ibu dan Anak Hermina Lampung yang merupakan gedung bertingkat tujuh lantai. diperoleh nilai faktor keutamaan gempa sebesar 1,5 dengan kategori risiko IV dan termasuk dalam kelas situs SE (tanah lunak). Setelah dilakukan analisis struktur dalam kondisi tanpa beban gempa dan dengan pengaruh beban gempa diperoleh hasil pembesaran sebagai berikut:

Mu balok : 2 s.d. 20 kali

Vu balok : 10 s.d. 20 kali

Mu kolom : 5 s.d. 20 kali

Vu kolom : 7 s.d. 12 kali

Pu kolom : 8 s.d. 20 kali

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa nilai kenaikan gaya struktur setelah diberi beban gempa, untuk struktur kolom tidak terlalu berbeda dengan penelitian ini yaitu 2 s.d. 20 kali, sedangkan untuk struktur balok memiliki perbedaan yang cukup signifikan yaitu antara 1 s.d. 43 kali. Untuk hasil evaluasi kekuatan strukturnya, terdapat kesamaan antara penelitian ini dengan penelitian Wafi *et al.* (2021), yaitu pada kondisi adanya pengaruh beban gempa, membutuhkan dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi tanpa pengaruh beban gempa, sehingga diperlukan penambahan tulangan atau pembesaran diameter tulangan yang digunakan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (1) Respon dinamis struktur yang dianalisis menggunakan metode respon spektrum tidak memenuhi syarat kelayakan gedung tahan gempa. (2) Evaluasi kekuatan pada struktur balok, dalam kondisi tanpa beban gempa, terdapat beberapa tipe balok yang tidak memenuhi persyaratan yaitu B1a, B1b, B1d dan B2a. Sedangkan pada kondisi dengan adanya pengaruh beban gempa tipe balok tidak memenuhi persyaratan, diantaranya yaitu balok tipe B1a, B1b, B1c, B1d, B1e, B1f, B2a, B2b, B2c, dan B2d. Berdasarkan hasil

tersebut dapat dikatakan bahwa struktur balok pada Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro tidak cukup aman untuk menahan beban gempa yang terjadi sehingga perlu adanya penambahan dimensi tulangan atau penambahan jumlah tulangan yang digunakan. (3) Evaluasi kekuatan pada struktur kolom, dalam kondisi tanpa beban gempa kolom dikategorikan aman, sedangkan dengan adanya penambahan beban gempa, struktur kolom tidak aman. (4) Terdapat perbedaan yang signifikan antara kebutuhan tulangan pada kondisi tanpa beban gempa dan dengan adanya penambahan beban gempa. (5) Struktur pelat pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro sudah memenuhi nilai yang disyaratkan, sehingga pelat aman untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, M.R., Yulianti, G., Yunus, R., Wiguna, S., W. Adi, A., Ichwana, A.N., and Randongkir, Roling Evans Septian, R.T., 2018. *RBI (Risiko Bencana Indonesia)*. BNPB Direktorat Pengurangan Risiko Bencana.
- PBI, 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I. - 2. *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*, 7.
- Prismastanto, N., 2019. Metode Analisis Ragam Spektrum Respons Pada Struktur Gedung Bertingkat. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 1 (1), 25.
- Purnomo, E., Purwanto, E., and Supriyadi, A., 2014. Analisis dinamik respon spektrum menggunakan software Etabs (studi kasus: bangunan hotel di Semarang). *Matriks Teknik Sipil*, 2 (4), 569–576.
- SNI-1726, 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Jakarta; Badan standardisasi Nasional*, (8), 254.
- SNI-1727, 2020. Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain 1727:2020. *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, (8), 1–336.
- SNI-2847, 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). *Jakarta; Badan standardisasi Nasional*, (8).
- Suharjanto, 2013. *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta:Kepel Press.
- Wafi, A., Isneini, M., and Husni, H.R., 2021. Analisis Pengaruh Beban Gempa pada Gedung Tujuh Lantai Menggunakan Metode Statik Ekuivalen (Study Kasus: Rumah Sakit Ibu dan Anak Hermina Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil ...*, 9 (2), 377–386.

