



Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit 6 Lantai dengan Analisis *Pushover* (Studi Kasus: Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda)

Nurmila¹, Indra Ariani², Fachriza Noor Abdi³

^{1,2,3} Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

¹nrmilamila@gmail.com, ²indraariani@ft.unmul.ac.id, ³fnabdi@ft.unmul.ac.id

Abstract

Indonesia is an archipelago located at the confluence of three active tectonic plates, which makes the islands in Indonesia an area with a high level of seismicity, one of which is Kalimantan Island. The numerous earthquakes in Indonesia have had devastating effects, causing significant damage to buildings and resulting in the loss of life. Therefore, it is necessary to evaluate the performance of the building structure to determine the level of damage it sustains when exposed to an earthquake. This research was conducted on the Mulya Medika Hospital Building project located in Samarinda City, which will be evaluated with FEMA 310, using pushover analysis. In this study, only 2 evaluation stages were carried out, namely Tier 2 using linear dynamic spectrum response analysis and equivalent linear static analysis to determine the Demand Capacity Ratio (DCR) value, and Tier 3 using non-linear static pushover analysis. Pushover analysis involves gradually applying a thrust load to a structure until it either collapses or reaches a predetermined displacement target. This process allows for the assessment of the structure's performance according to FEMA 356 guidelines. According to the results of the tier 2 analysis, the DCR values for all beams and columns were less than or equal to 2, meeting the acceptance criteria outlined in FEMA 310. The results of the Tier 3 analysis indicated that the performance level, based on FEMA 356, fell within the Immediate Occupancy category. This suggests that there was no significant damage to the structural components, and the building's strength and stiffness remained nearly unchanged compared to its condition before the earthquake.

Keywords: Demand Capacity Ratio (DCR), Earthquake, Earthquake Resistant Building, Static Non-Linear Pushover Analysis, Structure Performance Evaluation

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia, yang menjadikan pulau-pulau di Indonesia sebagai daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi, salah satunya Pulau Kalimantan. Banyaknya peristiwa gempa bumi yang pernah terjadi di Indonesia, dampak terburuk yang disebabkan adalah kerusakan bangunan struktur yang dapat memakan banyak korban jiwa. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja struktur bangunan untuk mengetahui tingkat kerusakan pada struktur saat terkena gempa. Penelitian ini dilakukan pada proyek Gedung Rumah Sakit Mulya Medika yang terletak di Kota Samarinda yang akan dievaluasi dengan FEMA 310 dengan pendekatannya menggunakan analisis *pushover*. Evaluasi kinerja struktur bangunan metode FEMA 310 dilakukan dengan 3 tahap, yaitu *Tier 1*, *Tier 2* dan *Tier 3*. Pada penelitian ini hanya dilakukan 2 tahap evaluasi, yaitu *Tier 2* menggunakan analisis dinamik linear respon spektrum dan analisis statik linear ekuivalen untuk menentukan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR), dan *Tier 3* menggunakan analisis non-linear statik *pushover*. Konsep analisis *pushover* adalah mengaplikasikan beban dorong secara berangsur-angsur sampai tercapai keruntuhan pada struktur atau mencapai target perpindahan yang diharapkan, kemudian dapat ditentukan level kinerja struktur menurut FEMA 356. Dari hasil analisis *tier 2* diperoleh nilai DCR seluruh balok dan kolom ≤ 2 dan telah memenuhi kriteria penerimaan berdasarkan FEMA 310. Hasil analisis *tier 3* diperoleh level kinerja berdasarkan FEMA 356 termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy*, yang berarti tidak ada kerusakan berat pada komponen struktural, kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi gedung sebelum dilanda gempa.

Kata kunci: Demand Capacity Ratio (DCR), Gempa Bumi, Bangunan Tahan Gempa, Analisis Statik Nonlinear Pushover, Evaluasi Kinerja Struktur

Diterima Redaksi : 2024-12-02 | Selesai Revisi : 2024-12-19 | Diterbitkan Online : 2025-08-04

1. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia yang menjadikan Indonesia sebagai

daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat telah terjadi 26 kejadian gempa bumi merusak (*destructive earthquake*) di Indonesia sepanjang 2021 yang merupakan jumlah tertinggi dalam



kurun waktu 20 tahun terakhir [1]. Hal ini menunjukkan bahwa pulau-pulau di Indonesia memiliki potensi terjadinya gempa bumi, salah satunya Pulau Kalimantan. Kalimantan merupakan pulau dengan tingkat aktivitas kegempaan yang relatif paling rendah, tetapi bukan berarti tidak berpotensi terjadi gempa bumi [2]. Dampak terburuk yang disebabkan oleh gempa bumi adalah kerusakan bangunan struktur yang dapat memakan banyak korban jiwa. Oleh karena sifat gempa terjadi secara tiba-tiba dan tidak dapat diprediksi, maka diperlukan perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Masalah yang muncul ada pada bangunan yang telah berdiri, apakah dalam perencanaan bangunan tersebut telah didesain tahan terhadap gempa atau tidak, sehingga perlu dilakukan evaluasi kinerja terhadap struktur bangunan tersebut.

Seiring berkembangnya teknologi dalam pengembangan desain bangunan tahan gempa, mulai diperkenalkannya konsep desain rekayasa gempa berbasis kinerja (*Performance Based Design*). Desain berbasis kinerja menekankan pada kinerja struktur selama terjadi respon gempa, dimana struktur dapat mengalami kerusakan bahkan keruntuhan [3]. FEMA 310 mengeluarkan pedoman evaluasi kinerja struktur, dengan salah satu metode pendekatannya adalah analisis statik nonlinear *pushover* [4]. Tujuan analisis *pushover* ini adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian struktur mana saja yang mengalami kritis atau kerusakan [4]. Sehingga, dapat ditentukan *performance* atau kinerja struktur tersebut dengan mengacu kepada FEMA 356.

Studi kasus pada penelitian ini adalah proyek Gedung Rumah Sakit Mulya Medika yang terletak di Kota Samarinda. Banyak studi menunjukkan bahwa analisis *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinear untuk untuk bangunan reguler dan tidak tinggi [5]. Selain itu, analisis *pushover* memungkinkan evaluasi mendetail mengenai bagaimana struktur akan merespon berbagai tingkat intensitas gempa. Hal ini sangat penting terutama dalam mengevaluasi gedung dengan tingkat kategori risiko tinggi seperti rumah sakit, karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang titik lemah dan potensi keruntuhan pada struktur gedung. Sehingga dapat dipastikan bahwa gedung dengan kategori risiko tinggi dapat memenuhi kriteria kinerja yang diharapkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kinerja pada struktur untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur saat terkena gempa dengan menggunakan metode FEMA 310 yang dianalisis dengan analisis *pushover*, sehingga dapat dilakukan penanganan terhadap struktur gedung tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Kota Samarinda dengan metode FEMA 310 menggunakan program bantu ETABS. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui hasil evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*) dengan Analisis Dinamik Linear Respon Spektrum dan

evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) dengan Analisis Statik Nonlinear Pushover) berdasarkan FEMA 310, serta mengetahui level kinerja (*performance*) struktur berdasarkan FEMA 356.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat studi kepustakaan dan analisis dengan menggunakan program bantu, yaitu ETABS. Pengumpulan data diperoleh dari studi literatur dan observasi. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari parameter-parameter analisa beban gempa standar perencanaan ketahan gempa untuk struktur bangunan gedung sesuai SNI 1726:2019 [6]. Observasi dilakukan dengan mengamati langsung kondisi objek penelitian di lapangan guna sebagai pembanding dengan yang dimodelkan pada program bantu.

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Mulya Medika di Jl. Bung Tomo, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Adapun denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian

2.2. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dimana tidak ada peninjauan langsung sebagai data primer. Data sekunder pada penelitian berupa data geometri struktur, detail penampang elemen struktur dan mutu material elemen struktur. Data tersebut diperoleh dari hasil pengamatan terhadap gambar struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda dan studi literatur. Data sekunder lainnya adalah data zona gempa yang diperoleh dari *website* Kementerian Pekerjaan Umum Desain Spektra Indonesia.

2.3. Metode Analisis

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Kota Samarinda dengan metode FEMA 310 menggunakan program bantu ETABS. Evaluasi kinerja struktur gedung berdasarkan FEMA 310 dilakukan dalam 3 tahap, yaitu evaluasi tahap 1 (*tier 1 evaluation*), evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*) dan evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) [7]. Kondisi gedung pada saat penelitian dilaksanakan belum selesai dibangun, yaitu masih

berupa struktur atas dan bawah saja tanpa komponen arsitektural, mekanikal dan elektrik serta beban layan belum bekerja, sehingga *Tier 1* tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu penelitian hanya dilakukan analisis sesuai *Tier 2* dan *Tier 3* (Analisis Statik Nonlinear *Pushover*).

Prosedur yang digunakan dalam evaluasi tahap 2 adalah prosedur analisis dinamik linear dengan beban gempa respon spektrum dengan lokasi kegempaan berada di Kota Samarinda. Analisis statik linear ekuivalen digunakan sebagai kontrol terhadap perilaku struktur dengan berpedoman kepada SNI 1726:2019 [6]. Hasil gaya dalam tiap elemen berupa gaya aksial, momen dan gaya geser yang digunakan untuk menentukan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) dari komponen-komponen primer struktur gedung yang ditinjau.

2.4. Evaluasi Kinerja Struktur FEMA 310

Federal Emergency Management Agency (FEMA) menerbitkan FEMA 310 sebagai pedoman yang digunakan dalam melakukan evaluasi kinerja struktur. Standar evaluasi yang dikeluarkan FEMA 310 mencakup tahap evaluasi sebelum terjadinya gempa, saat terjadi gempa dan setelah terjadi gempa. Evaluasi kinerja struktur bangunan berdasarkan FEMA 310 meliputi 3 tahapan, yaitu evaluasi tahap 1 (*tier 1*), evaluasi tahap 2 (*tier 2*) dan evaluasi tahap 3 (*tier 3*) [8].

Evaluasi Tahap 1 (*Tier 1 Evaluation*), yaitu *Screening Phase/Rapid Visual Screening of Building*, merupakan langkah awal dalam evaluasi struktur bangunan eksisting. Evaluasi yang dilakukan merupakan evaluasi kondisi eksisting bangunan terhadap bahaya struktural, nonstruktural dan fondasi dari bangunan yang ditinjau. *Rapid visual screening of building* merupakan evaluasi secara visual yang dilakukan dengan survei lokasi ke bangunan eksisting secara langsung. Hasil akhir berupa *score* yang ditentukan dari penjumlahan nilai pada tiap kolom sesuai tipe bangunan. Apabila nilai *score* > 2, maka bangunan tersebut dianggap memiliki kemampuan yang memadai dalam menahan beban gempa. Sebaliknya jika hasil *score* < 2, maka bangunan perlu dievaluasi lebih lanjut [9].

Evaluasi Tahap 2 (*Tier 2 Evaluation*) dilakukan setelah evaluasi tahap 1 dengan kesimpulan bahwa bangunan memerlukan evaluasi lebih lanjut dan mendalam. Analisis tahap 2 terbatas pada metode analisis linear yang disederhanakan, meliputi analisis dinamik linear respon spektrum dan analisis statik linear ekuivalen [9]. Hasil analisis tahap 2 adalah nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR). Penggunaan prosedur linier ditentukan sesuai persyaratan pada FEMA 356, yaitu; Jika DCR semua komponen ≤ 2,0 maka prosedur linier dapat digunakan; Jika DCR dari satu atau lebih komponen melebihi 2,0 dan tidak terdapat ketidakberaturan struktur gedung, maka prosedur linier dapat digunakan; Jika DCR dari satu atau lebih komponen melebihi 2,0 dan terdapat ketidakberaturan struktur gedung, maka

prosedur linier tidak dapat digunakan [10]. DCR dihitung dengan persamaan berikut:

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \dots\dots\dots (1)$$

dengan Q_{UD} merupakan gaya-gaya dalam akibat beban gravitasi dan gempa, dan Q_{CE} adalah perkiraan kekuatan dari komponen sistem pemikul gaya lateral [10].

Evaluasi Tahap 3 (*Tier 3 Evaluation*), yaitu Analisis Statik Nonlinear *Pushover*. Analisis *Pushover* adalah suatu analisis yang mengaplikasikan beban dorong secara berangsur-angsur hingga struktur bangunan tersebut runtuh, sehingga dapat ditentukan level kinerja dari struktur bangunan tersebut. Pada analisis ini pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur hingga mencapai pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung [4]. Hasil analisis *pushover* berupa kurva kapasitas struktur yang memperlihatkan hubungan antara gaya geser dan perpindahan yang terjadi pada struktur.

2.5. Level Kinerja Struktur

Dari hasil evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) FEMA 310, kemudian ditentukan level kinerja struktur (*performance*) yang mengacu kepada FEMA 356. Berdasarkan FEMA 356 kinerja struktur bangunan saat terjadi gempa dibagi menjadi beberapa kategori antara lain, *Operational* (bangunan tidak mengalami kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun nonstruktural, tidak ada pergeseran permanen yang terjadi); *Immediate Occupancy* (bangunan tidak mengalami kerusakan pada komponen struktural dan pada komponen nonstruktural secara umum masih aman, tetapi secara operasional tidak dapat bekerja karena kegagalan mekanik); *Life Safety* (bangunan pasca gempa terjadi beberapa kerusakan komponen struktur dan kekuatan serta kekakuannya berkurang); *Collapse Prevention* (bangunan yang hampir runtuh dan pada komponen nonstrukturalnya sudah mengalami kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya pada keselamatan jiwa) [10]. Level kinerja struktur menurut FEMA 356 diperoleh dari nilai simpangan yang terjadi. Adapun batasan nilai simpangan untuk level kinerja struktur menurut FEMA 356 dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini. [10]:

Tabel 1. Batasan Simpangan Level Kinerja Struktur FEMA 356

Level Kinerja Struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy</i>	1,0	<i>Transient</i>
<i>Life Safety</i>	2,0	<i>Transient</i>
	1,0	<i>Permanent</i>
<i>Collapse Prevention</i>	4,0	<i>Transient</i> atau <i>Permanent</i>

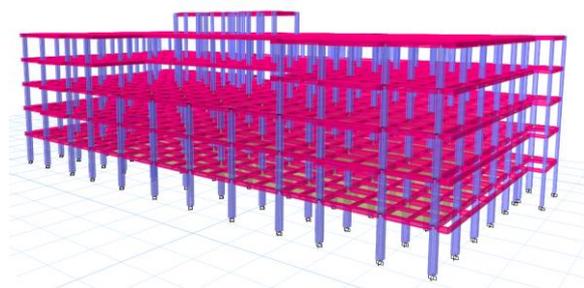
2.6. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur 3D dilakukan sesuai gambar *shop drawing* dengan menggunakan program bantu ETABS.

Balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame* dan pelat dimodelkan sebagai *slab*.

Gedung Rumah Sakit Mulya Medika merupakan struktur gedung beton bertulang yang terdiri dari 6 lantai dengan ketinggian 25,53 meter. Dimana tinggi lantai 1 adalah 4,85 meter, tinggi lantai 2 adalah 4,55 meter, tinggi lantai 3-5 adalah 4,2 meter, dan tinggi lantai *Attic* adalah 3,53 meter. Struktur gedung memiliki panjang 78,4 meter dan lebar 44,3 meter.

Data-data seperti mutu material, serta dimensi penampang balok, kolom dan pelat disesuaikan dengan yang tercantum pada *shop drawing*. Spesifikasi untuk beton yang digunakan yaitu, kolom (24,9 Mpa), balok dan pelat (20,7 Mpa). Sedangkan spesifikasi untuk baja tulangan yang digunakan yaitu, baja tulangan ulir (BJTD 40) dan baja tulangan polos (BJTP 24). Gambar 2 di bawah ini adalah bentuk pemodelan struktur Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda yang dimodelkan dengan program bantu ETABS.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Rumah Sakit 3D

2.7. Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan dilakukan sebagai input dalam analisa struktur. Pada analisis struktur ini terdapat beberapa asumsi yang diterapkan dalam menganalisis beban-beban yang bekerja. Beban-beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa. adapun perhitungan pembebanan pada struktur ini meliputi:

Beban mati (*Dead Load*) atau berat sendiri elemen struktur seperti balok, pelat dan kolom akan dihitung otomatis oleh program bantu (ETABS) berdasarkan input data material dan dimensi elemen struktur. Beban mati tambahan (*Superimpose Dead Load*) dan merupakan beban yang diinput pada balok merupakan beban mati tambahan akibat dinding. Perhitungan beban mati tambahan (SIDL) mengacu kepada PPURG 1987 [12].

Beban hidup (*Live Load*) dan merupakan beban yang diinput pada pelat adalah beban berdasarkan fungsi bangunan. Perhitungan beban hidup (LL) mengacu kepada SNI 1727:2020. Beban hidup yang bekerja pada pelat lantai diambil sebesar 2,87 kN/m² dan pada atap 0,96 kN/m² sesuai SNI 1727:2020 [13].

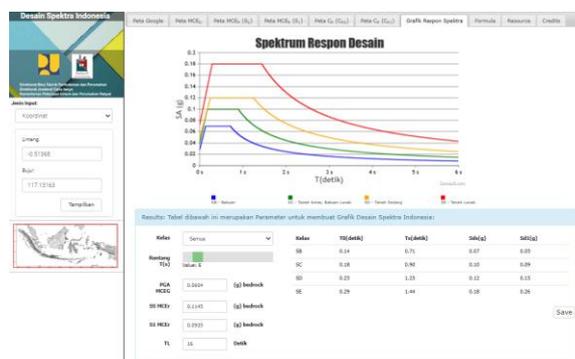
Beban gempa (*Earthquake*) dihitung dengan analisis dinamik linear dengan beban gempa respon spektrum dan analisis non linear *pushover*. Perhitungan beban gempa mengacu kepada SNI 1726:2019 [6].

2.8. Analisis Beban Gempa Respon Spektrum

Respon gempa pada desain berbasis kinerja ini digunakan respon gempa yang dihitung sesuai SNI 1726:2019. Berikut beberapa parameter yang digunakan dalam analisis dinamik linear respon spektrum dalam menghitung beban gempa [6].

Fungsi Gedung = Rumah Sakit
 Kategori Risiko Bangunan = IV
 Faktor keutamaan gempa (*I_e*) = 1,5
 Klasifikasi Situs = Tanah Lunak (SE)

Parameter-parameter percepatan gempa didapat dari respon spektra desain yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian PUPR [14]. Respon spektra desain untuk gedung Rumah Sakit Mulya Medika dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Respon Spektrum

Parameter-parameter percepatan gempa sebagai berikut:

Parameter Percepatan Batuan Dasar (*S_s* dan *S₁*)

S_s = 0,1145 g

S₁ = 0,0935 g

Faktor Amplifikasi Percepatan (*F_a* dan *F_v*)

F_a = 2,4

F_v = 4,2

Respons Spektral Percepatan (*S_{MS}* dan *S_{M1}*)

S_{MS} = 0,27 g

S_{M1} = 0,39 g

Percepatan Spektral Desain (*S_{DS}* dan *S_{DI}*)

S_{DS} = 0,18 g

S_{DI} = 0,26 g

Periode Getar Fundamental Struktur

T₀ = 0,29 detik

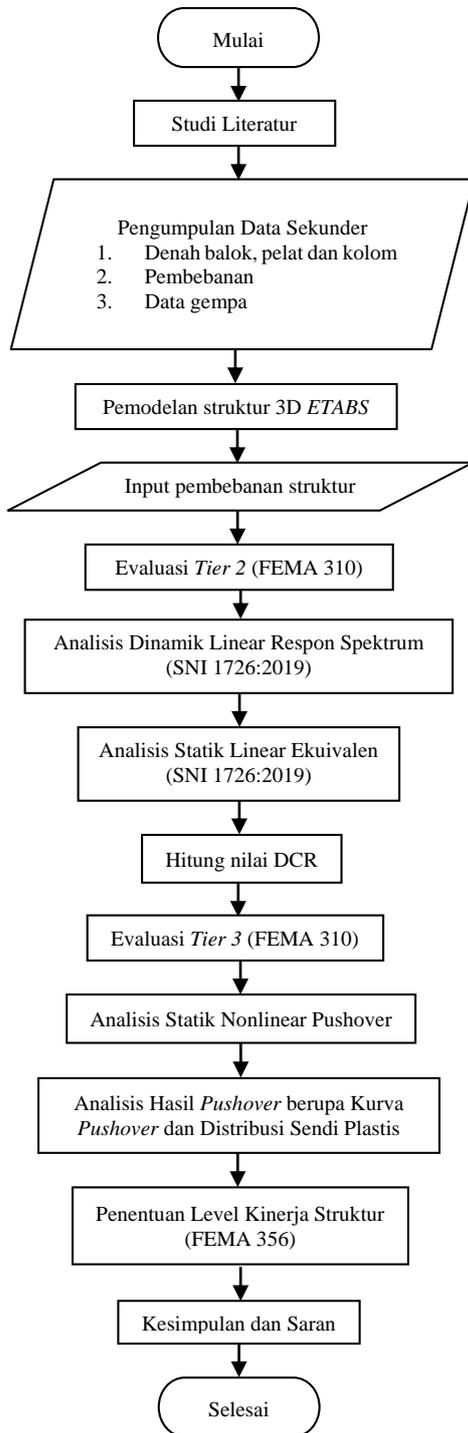
T_s = 1,44 detik

T_L = 16 detik

Parameter-parameter tersebut diinput ke dalam program bantu ETABS sebagai input beban gempa respon spektrum.

2.9. Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir pada penelitian ini pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Evaluasi Tahap 2 (Tier 2 Evaluation)

Evaluasi tahap 2 (tier 2 evaluation) pada pemeriksaan ketidakberaturan konfigurasi struktur memberikan

hasil bahwa struktur mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 2 (ketidakberaturan sudut dalam) dan tipe 5 (ketidakberaturan sistem nonparalel), serta ketidakberaturan vertikal tipe 2 (ketidakberaturan berat/massa). Pada pengecekan simpangan antar lantai dan pengaruh P-Delta didapatkan hasil bahwa memenuhi untuk semua lantai.

Hasil pemeriksaan kriteria penerimaan balok berdasarkan level kinerja IO dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Kriteria Penerimaan Balok untuk Level Kinerja IO

Lantai	Elemen	Kriteria Penerimaan	
		QCE>=QUD/m	QCE>=QUF
Lantai 2	30/55	0,265	0,950
	25/45	0,175	1,976
	20/40	0,295	0,804
	20/30	0,380	0,972
Lantai 3	15/55	0,168	0,032
	30/55	0,290	1,109
	25/45	0,163	0,622
	20/40	0,341	0,879
Lantai 4	20/30	0,703	1,091
	15/55	0,193	0,115
	30/55	0,256	0,825
	25/45	0,205	0,625
Lantai 5	20/40	0,291	0,860
	20/30	0,420	0,986
	15/55	0,171	0,037
	30/55	0,265	0,263
Lantai Attic	25/45	0,185	0,199
	20/40	0,319	0,282
	20/30	0,408	0,196
	15/55	0,177	0,035
R. Mesin	30/55	0,138	0,140
	25/45	0,125	0,157
	20/40	0,134	0,105
Lift	20/30	0,280	0,130
	15/55	0,102	0,021
	30/55	0,186	0,200
Atap	25/50	0,146	0,109
	20/40	0,115	0,072

Dari hasil analisis pemeriksaan kriteria penerimaan balok untuk level kinerja Immediate Occupancy (IO) pada Tabel 2 di atas, didapat hasil bahwa ada beberapa balok yang tidak memenuhi kriteria penerimaan level kinerja IO (Immediate Occupancy), yaitu B25/45 pada lantai 2, B30/55 dan B20/30 pada lantai 3.

Hasil pemeriksaan kriteria penerimaan kolom berdasarkan level kinerja IO dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Kriteria Penerimaan Kolom untuk Level Kinerja IO

Lantai	Elemen	Kriteria Penerimaan		
		QCE>=QUF		QCE>=QUD/m
		Aksial	Geser	Geser
Lantai 2	70/70	0,094	0,062	0,148
	65/65	0,098	0,124	0,145
	60/60	0,055	0,185	0,151
	60/30	0,100	0,274	0,354
Lantai 3	30/60	0,089	0,013	0,033
	70/70	0,074	0,081	0,112
	60/60	0,090	0,216	0,150
	60/30	0,073	0,259	0,433

Lantai	Elemen	Kriteria Penerimaan		
		QCE ≥ QUF		QCE ≥ QUD/m
		Aksial	Geser	Geser
Lantai 4	30/60	0,060	0,020	0,043
	60/60	0,073	0,205	0,124
	60/30	0,048	0,249	0,393
Lantai 5	30/60	0,033	0,020	0,036
	60/60	0,017	0,069	0,071
	60/30	0,026	0,218	0,321
Lantai Attic	50/50	0,067	0,209	0,207
	30/50	0,020	0,086	0,164
	60/60	0,006	0,007	0,044
R. Mesin Lift	60/30	0,007	0,065	0,272
	50/50	0,034	0,080	0,062
	30/50	0,010	0,036	0,155
Atap	50/50	0,025	0,287	0,121
	50/50	0,009	0,080	0,113

Dari hasil analisis pemeriksaan kriteria penerimaan balok untuk level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) pada Tabel 3 di atas, didapat hasil bahwa seluruh kolom memenuhi kriteria penerimaan level kinerja IO.

Selanjutnya adalah pemeriksaan hasil perhitungan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) balok dan kolom. Nilai DCR balok dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) Balok

Lantai	Elemen	QUD/QCE	
		Momen	Geser
Lantai 2	30/55	0,789	0,950
	25/45	0,522	1,976
	20/40	0,881	0,804
	20/30	1,134	0,972
Lantai 3	15/55	0,168	0,032
	30/55	0,867	1,109
	25/45	0,487	0,622
	20/40	1,019	0,879
Lantai 4	20/30	1,013	1,091
	15/55	0,582	0,115
	30/55	0,762	0,825
	25/45	0,613	0,625
Lantai 5	20/40	0,869	0,860
	20/30	1,255	0,986
	15/55	0,516	0,111
	30/55	0,791	0,783
Lantai Attic	25/45	0,552	0,595
	20/40	0,950	0,840
	20/30	1,217	0,594
	15/55	0,529	0,104
R. Mesin	30/55	0,412	0,416
	25/45	0,373	0,467
	20/40	0,398	0,313
	20/30	0,835	0,390
Atap	15/55	0,305	0,064
	30/55	0,555	0,595
	20/40	0,564	0,338
	25/50	0,437	0,324
	20/40	0,342	0,213

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) balok seperti ditunjukkan pada Tabel 4 di atas, didapat bahwa seluruh balok memiliki nilai $DCR \leq 2$, sehingga seluruh balok aman dan memenuhi kriteria evaluasi *tier 2*.

Nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) kolom dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) Kolom

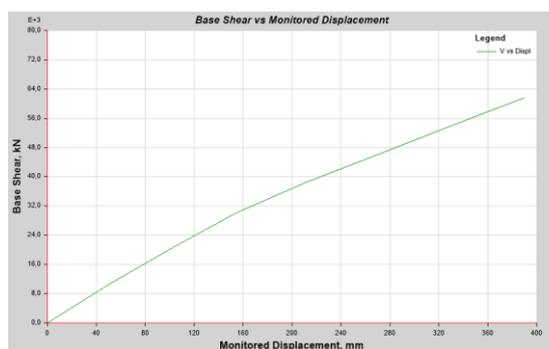
Lantai	Elemen	QUD/QCE		
		Aksial	Geser	Momen
Lantai 2	70/70	0,281	0,448	0,187
	65/65	0,293	0,439	0,369
	60/60	0,164	0,457	0,561
Lantai 3	60/30	0,297	1,070	0,820
	30/60	0,266	0,101	0,038
	70/70	0,219	0,336	0,243
Lantai 4	60/60	0,267	0,453	0,652
	60/30	0,217	1,291	0,774
	30/60	0,158	0,128	0,060
Lantai 5	60/60	0,073	0,124	0,205
	60/30	0,048	0,393	0,249
	30/60	0,033	0,036	0,020
Lantai Attic	60/60	0,050	0,215	0,208
	60/30	0,079	0,969	0,651
	50/50	0,200	0,620	0,628
R. Mesin	30/50	0,308	0,496	0,260
	60/60	0,017	0,132	0,021
	60/30	0,022	0,810	0,195
Atap	50/50	0,102	0,185	0,238
	30/50	0,029	0,463	0,108
	50/50	0,075	0,361	0,856
	50/50	0,026	0,338	0,238

Hasil pemeriksaan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) kolom menunjukkan bahwa seluruh kolom memiliki nilai $DCR \leq 2$, sehingga seluruh kolom aman dan memenuhi kriteria evaluasi *tier 2*. Berdasarkan FEMA 356, jika nilai DCR semua komponen $\leq 2,0$, maka prosedur linear berlaku dan dapat digunakan.

Dari hasil evaluasi tahap 2 (*tier 2 evaluation*), didapat bahwa struktur gedung dapat dikatakan sudah aman dan memenuhi kriteria penerimaan berdasarkan FEMA 310. Gedung yang ditinjau termasuk ke dalam bangunan yang diklasifikasikan sebagai fasilitas penting yang harus dievaluasi berdasarkan tingkat kinerja *immediate occupancy*, maka akan dilakukan evaluasi tahap 3 (*tier 3 evaluation*) dengan analisis statik nonlinear *pushover* untuk mengevaluasi struktur secara lebih terperinci.

3.2. Hasil Evaluasi Tahap 3 (*Tier 3 Evaluation*)

Analisis *pushover* menghasilkan grafik kurva kapasitas. Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan yang terjadi akibat beban gempa pada struktur bangunan. Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



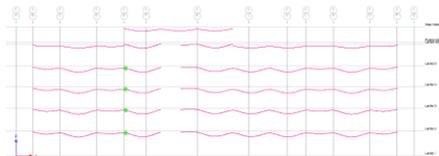
Gambar 5. Kurva Kapasitas Hasil Analisis *Pushover*

berdasarkan kurva kapasitas *pushover* di atas didapatkan nilai perpindahan (*displacement*) dan gaya geser (*base shear*) yang ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. *Displacement* dan *Base Shear* Hasil Analisis *Pushover*

Step	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Base Shear</i> (kN)
0	0	0
1	0,118	25,1348
2	51,518	10781,4581
3	102,631	20718,8703
4	154,924	30274,29
5	210,771	38294,7119
6	261,831	45033,5677
7	312,891	51699,5228
8	363,951	58301,8725
9	389,68	61582,0401

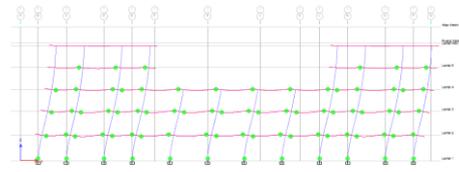
Analisis *pushover* menghasilkan skema distribusi sendi plastis. Sendi plastis terjadi karena beban dorong yang diberikan melampaui beban yang dapat ditahan oleh struktur. Pada Gambar 6 di bawah ini dapat dilihat bahwa sendi plastis pertama muncul pada step ke-1.



Gambar 6. Mekanisme Sendi Plastis Step 1

Pada Gambar 6 di atas, diketahui bahwa lokasi awal terjadinya sendi plastis terjadi pada balok lantai 2 yang kemudian bertahap naik ke atas seiring pertambahan beban dorong yang diberikan struktur.

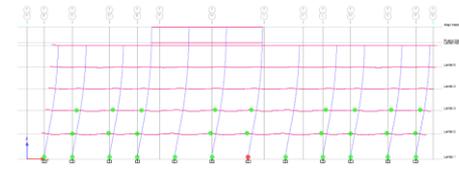
Sendi plastis kemudian terjadi pada kolom, yaitu pada step ke-4, seperti pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Mekanisme Sendi Plastis Step 4

Pada Gambar 7 di atas, diketahui bahwa sendi plastis pada kolom mulai terjadi pada kolom lantai 2 sebelum pada akhirnya naik ke lantai-lantai berikutnya.

Sendi plastis berakhir di step ke-9 yang merupakan step terakhir dimana step berhenti secara otomatis dikarenakan elemen struktur mengalami sendi plastis pada tingkat E. Sendi plastis pada step ke-9 dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Mekanisme Sendi Plastis Step 9

Pada step ke-9 yang merupakan step terakhir, struktur sudah tidak mampu lagi menerima beban dorong atau dinyatakan *collapse* sehingga step otomatis berhenti.

Pada Tabel 7 di bawah ini merupakan hasil persebaran sendi plastis yaitu hasil running analisis *pushover*, yang merupakan hubungan antara gaya dan perpindahan terhadap struktur.

Tabel 7. Persebaran Sendi Plastis

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	5534	20	0	0	0	5554	0	0	0	5554
1	0,118	25,1348	5534	20	0	0	0	5554	0	0	0	5554
2	51,518	10781,4581	5283	271	0	0	0	5554	0	0	0	5554
3	102,631	20718,8703	4947	607	0	0	0	5553	1	0	0	5554
4	154,924	30274,29	4685	869	0	0	0	5551	1	0	2	5554
5	210,771	38294,7119	4393	1161	0	0	0	5519	32	0	3	5554
6	261,831	45033,5677	4218	1336	0	0	0	5399	150	1	4	5554
7	312,891	51699,5228	4094	1460	0	0	0	5328	218	2	6	5554
8	363,951	58301,8725	3949	1605	0	0	0	5267	276	1	10	5554
9	389,68	61582,0401	3862	1691	1	0	0	5239	301	2	12	5554

Dari hasil analisis *pushover* yang menghasilkan persebaran sendi plastis seperti pada Tabel 7 di atas, dapat diketahui bahwa *pushover* pada arah x menghasilkan 9 step sebelum dinyatakan *collapse*. Pada step ke-0 belum mengalami perpindahan, kemudian pada step ke-1 sudah mengalami perpindahan dan terjadi kenaikan nilai *displacement* sebesar 0,118 mm dengan nilai *base shear* sebesar 25,1348 kN.

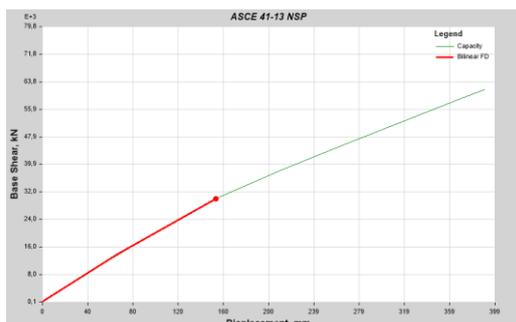
Sendi plastis mulai muncul pada step ke-1 pada level B-C, yang kemudian akan terus meningkat hingga mencapai step ke-9 yang merupakan step terakhir, dimana struktur sudah tidak mampu lagi menerima beban dorong karena struktur *collapse* sehingga akan dihentikan secara otomatis oleh program.

Dari hasil persebaran sendi plastis, dimana sendi plastis pertama kali terjadi pada balok lantai 2 sebelum

akhirnya terbentuk sendi plastis pada kolom, dapat dinyatakan bahwa struktur gedung Rumah Sakit Mulya Medika sudah memenuhi konsep struktur *strong column – weak beam*.

3.3. Level Kinerja Struktur FEMA 356

Kurva kapasitas hasil analisis pushover selanjutnya diubah menjadi kurva biner dengan memodifikasi respon elastis linear dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien sehingga diperoleh beberapa parameter untuk menghitung target perpindahan. Kurva biner yang dihasilkan oleh analisis pushover dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Kurva Biner Pushover

Dari kurva biner tersebut tersebut didapat nilai target perpindahan sebesar 153,371 mm atau 0,153371 meter. dari hasil target perpindahan kemudian dihitung nilai drift aktual.

$$\text{Drift aktual} = \frac{\delta_T}{h} = 0,006 \text{ m}$$

Berdasarkan batasan simpangan untuk level kinerja menurut FEMA 356, struktur gedung dengan nilai **drift aktual = 0,006 m** termasuk level kinerja *Immediate Occupancy*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

Evaluasi *tier 2* pada Gedung Rumah Sakit Mulya Medika berdasarkan FEMA 310 memberikan hasil bahwa struktur gedung yang ditinjau berdasarkan pemeriksaan kriteria penerimaan struktur, hampir seluruh balok dan kolom memenuhi kriteria penerimaan level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) dan beberapa balok yang tidak memenuhi yaitu B25/45 pada lantai 2, B30/55 dan B20/30 pada lantai 3. Selain itu, berdasarkan hasil pemeriksaan nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) menunjukkan bahwa seluruh balok dan kolom memiliki nilai $DCR \leq 2$. Berdasarkan FEMA 356, jika nilai DCR semua komponen $\leq 2,0$, maka prosedur linear berlaku dan dapat digunakan.

Hasil evaluasi *tier 3* dengan analisis *pushover* berupa kurva kapasitas struktur dan persebaran sendi plastis. Dari hasil analisis pushover yang menghasilkan persebaran sendi plastis, dapat diketahui bahwa pushover pada arah x menghasilkan 9 step sebelum

dinyatakan *collapse*. Sendi plastis pertama kali terjadi pada step ke-1 dengan nilai *displacement* sebesar 0,118 mm dengan nilai *base shear* sebesar 25,1348 kN, yang kemudian akan terus meningkat hingga mencapai step ke-9 yang merupakan step terakhir. Dari hasil persebaran sendi plastis, dimana sendi plastis pertama kali terjadi pada balok lantai 2 sebelum akhirnya terbentuk sendi plastis pada kolom, dapat dinyatakan bahwa struktur gedung Rumah Sakit Mulya Medika sudah memenuhi konsep struktur *strong column – weak beam*.

Berdasarkan metode FEMA 356, didapatkan nilai target perpindahan (δ_t) sebesar 0,153371 m. Dari nilai target perpindahan kemudian dapat dihitung nilai drift aktual pada struktur dan didapat nilai drift aktual struktur sebesar 0,006 m. Berdasarkan batasan simpangan untuk level kinerja menurut FEMA 356, struktur gedung dengan nilai drift aktual = 0,006 termasuk level kinerja *Immediate Occupancy* yang berarti tidak ada kerusakan berat pada komponen struktural, kekuatan dan kekakuan gedung masih hampir sama dengan kondisi sebelum struktur dilanda gempa, sehingga pada kondisi pascagempa gedung masih tergolong aman untuk dihuni.

Berdasarkan hasil analisis pada kesimpulan, diketahui bahwa struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika Samarinda sudah memenuhi kriteria level kinerja struktur. Dimana fungsi gedung sebagai rumah sakit, yang merupakan bangunan yang diklasifikasikan sebagai fasilitas penting dan harus dievaluasi berdasarkan level kinerja *Immediate Occupancy*. Pada pemeriksaan nilai DCR seluruh balok dan kolom juga sudah memenuhi seperti yang diisyaratkan pada FEMA 356. Sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan struktur Gedung Rumah Sakit Mulya Medika aman dalam evaluasi kinerja struktur berdasarkan FEMA 310.

6. Daftar Rujukan

- [1] Asmarini, "26 Gempa Bumi Merusak 2021, Rekor Tertinggi selama 20 Tahun!", CNBC Indonesia, 2022. [Online]. Tersedia: [26 Gempa Bumi Merusak 2021, Rekor Tertinggi Selama 20 Tahun!](#). [Diakses:21 Maret 2024].
- [2] Sucipto, "Timur Kalimantan pun Berpotensi Gempa dan Tsunami", Kompas.id, [Online]. 2021. Tersedia: [Timur Kalimantan Pun Berpotensi Gempa dan Tsunami - Kompas.id](#). [Diakses: 21 Maret 2024].
- [3] D. I. Cahyani., dkk., "Analisis Pushover untuk Performance Based Design pada Struktur Beton Bertulang dengan Menggunakan ETABS (Studi Kasus: Proyek Hotel Fox Lite di Jln. S. Parman, Kota Samarinda, Kalimantan Timur)". *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Vol. 6, no.1, hal.30-37, Mei 2022.
- [4] Y. P. A. Rummyarso, "Kinerja Struktur Gedung Office 36 Lantai: Analisis Time History dan Pushover", Banyumas: *Amerta Media*, 2024. [Online] Tersedia: <https://repository.unkris.ac.id/eprint/2932/>.
- [5] M. R. Saputra, dkk., "Evaluasi Kinerja Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi akibat Beban Gempa". *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 8, no. 5, hal. 679-686, Agustus 2020. Tersedia: [Jurnal Sipil Statik](#)

- [6] Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. 2019.
- [7] FEMA-310, *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings: A Prestandard. Fema 310*, 1998.
- [8] E. F. Nurhidayatullah and M. Teguh, “Kinerja Seismik Struktur pada Tipe Gedung dengan Ketidakberaturan Ketinggian dan Denah”. *Jurnal Teknisia*, vol. XXIII, no.1, hal.450-462, Mei 2018. Tersedia: <https://journal.uui.ac.id/teknisia/article/view/11031>
- [9] N. K. Handayani, “Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Eksisting tujuh Lantai dengan Fema 310”, *Jurnal Teknik Sipil*, vol.7, no.1, hal. Pp. 1-14, April 2021. Tersedia: <http://jurnal.utu.ac.id/jtsipil/article/view/3252>.
- [10] FEMA-356, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building. Federal Emergency Management Agency*, hal.1-518, 2000.
- [11] Tavio and U. Wijaya, *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*, Edisi ke-2, Yogyakarta: ANDI, 2018.
- [12] Departemen Pekerjaan Umum, *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987)*, 1987.
- [13] Badan Standarisasi Nasional, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*, 2020.
- [14] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat *Desain Spektra Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, 2021.