

ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG SESUAI ATC-40

PERFORMANCE ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES ACCORDING TO ATC-40

Dermawan Zebua¹, Eliyunus Waruwu², Delipiter Lase³, Rachmi Yanita⁴, Jun Fajar
Krisman Giawa⁵

¹ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Indonesia

² Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Nias, Indonesia

³ Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Nias, Indonesia

⁴ Profesi Insinyur, Institut Teknologi Indonesia, Indonesia

⁵ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Indonesia

Abstrak: Keinsinyuran menerapkan prinsip ilmiah dan matematis untuk merancang, mengembangkan, dan memelihara struktur yang aman dan efisien. Di Indonesia, yang rawan gempa kuat, penting untuk menerapkan konsep bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726-2019, yang mensyaratkan desain bangunan untuk menahan gempa dengan periode ulang 500, 1000, dan 2500 tahun. Penelitian ini bertujuan menentukan kriteria kinerja seismik struktur menggunakan sistem SRMPK berdasarkan perpindahan yang dihitung dengan ATC-40, menunjukkan distribusi sendi plastis, serta mengidentifikasi pola keruntuhan dan kerusakan joint dari analisis pushover. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur bangunan mampu menunjukkan perilaku nonlinear, dengan sendi plastis mayoritas terjadi pada balok sebelum kolom, memenuhi konsep kolom kuat - balok lemah. Evaluasi kinerja struktur menurut ATC-40 menunjukkan bahwa level kinerja gedung SRMPK pada arah x-x dan y-y berada pada kategori Immediate Occupancy (IO) dengan nilai 0.011, yang berarti bangunan aman saat gempa, dengan risiko minimal pada korban jiwa dan kegagalan struktur, tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat difungsikan kembali segera dengan kekuatan dan kekakuan hampir sama seperti sebelum gempa. Tingkat kerawanan/kinerja struktur gedung yang didesain sudah sangat aman karena dalam ATC-40, gedung perkantoran diperbolehkan berada pada fase LS (Life Safety). Sesuai ATC-40, nilai tingkat IO (Immediate Occupancy) adalah 0,01 dan tingkat kinerja LS (Life Safety) adalah 0,02. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa tingkat kinerja berada pada kategori IO (Immediate Occupancy) yang sangat aman.

Kata kunci: Pushover, Beton Bertulang, Gempa, Nonlinier, Sendi Plastis

Abstract: Engineering applies scientific and mathematical principles to design, develop, and maintain safe and efficient structures. In Indonesia, which is prone to strong earthquakes, it is crucial to implement earthquake-resistant building concepts in accordance with SNI 1726-2019, which requires building designs to withstand earthquakes with return periods of 500, 1000, and 2500 years. This research aims to determine the seismic performance criteria of structures using the SRMPK system based on displacements calculated with ATC-40, showing the distribution of plastic hinges, and identifying the failure patterns and joint damage from pushover analysis. The results of the research indicate that the building structure is capable of exhibiting nonlinear behavior, with most plastic hinges occurring in beams before columns, complying with the strong column - weak beam concept. The performance evaluation of the structure according to ATC-40 shows that the performance level of the SRMPK building in the x-x and y-y directions is in the Immediate Occupancy (IO) category with a value of 0.011, meaning the building is safe during an earthquake, with minimal risk to human life and structural failure, does not experience significant damage, and can be immediately functional with strength and stiffness nearly the same as before the earthquake. The vulnerability/performance level of the designed building structure is very safe because, according to ATC-40, office buildings are allowed to be in the LS (Life Safety) phase. According to ATC-40, the IO (Immediate Occupancy) performance level is 0.01 and the LS (Life Safety) performance level is 0.02. Therefore, it can be concluded that the performance level falls within the IO (Immediate Occupancy) category, which is very safe

Keywords: Pushover, Reinforced Concrete, Earthquake, Nonlinear, Plastic Joints

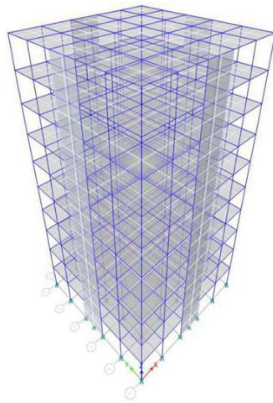
PENDAHULUAN

Keinsinyuran menerapkan prinsip ilmiah dan matematis untuk merancang, mengembangkan, dan memelihara struktur yang aman dan efisien. Di Indonesia, yang sering mengalami gempa kuat, penting untuk menerapkan konsep bangunan tahan gempa. Menurut SNI 1726-2019, bangunan harus dirancang untuk menahan gempa dengan gelombang 500, 1000, dan 2500 demi keselamatan penghuni, sehingga bangunan di daerah rawan gempa harus mematuhi standar nasional (Zebua et al., 2020). Perencanaan struktur tahan gempa sangat penting untuk melindungi penghuni dan mengurangi risiko korban jiwa akibat gempa. Struktur bangunan harus cukup kuat, kaku, dan stabil untuk mencegah keruntuhan (Budiono & Supriatna, 2016). Metode analisis pushover adalah bagian dari desain berbasis kinerja yang digunakan untuk menentukan kapasitas suatu struktur. Analisis pushover merupakan analisis statis nonlinier di mana dampak gempa rencana terhadap bangunan diperlakukan sebagai beban-beban statis yang diterapkan pada pusat massa masing-masing lantai. Beban ini secara bertahap ditingkatkan hingga melampaui beban yang menyebabkan pelepasan sendi plastis pertama dalam bangunan. Setelah itu, dengan penambahan beban lebih lanjut, struktur mengalami deformasi pasca-elastis yang signifikan

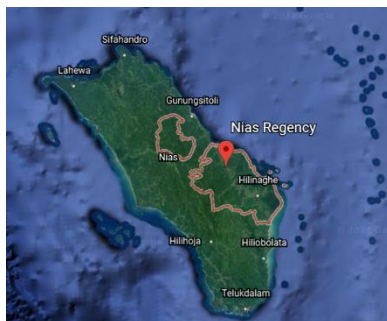
sampai mencapai pergeseran target yang diharapkan atau kondisi plastis. Selama proses pushover, struktur didorong hingga mengalami pelepasan pada satu atau lebih lokasi di dalamnya. Kurva kapasitas akan menunjukkan perilaku linier sebelum mencapai titik leleh, dan setelah itu menunjukkan perilaku nonlinier. (Tavio, 2018). Dalam penelitian ini untuk mengetahui kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang menurut ATC-40.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Gedung Perkantoran yang direncanakan terletak di Kabupaten Nias, Provinsi Sumatera Utara dimana beban gempa Gedung menggunakan Lokasi tersebut. Gedung ini memiliki fungsi sebagai perkantoran dengan jumlah lantai sebanyak 10 lantai dan tinggi setiap lantai sebesar 3.5 meter. Mutu beton yang digunakan adalah 35 MPa (F_c), sedangkan mutu baja tulangan yang digunakan adalah 400 MPa (F_y). Data perencanaan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi lokasi, fungsi, jumlah lantai, tinggi lantai, serta mutu material.



Gambar 1. Tampak 3D Gedung



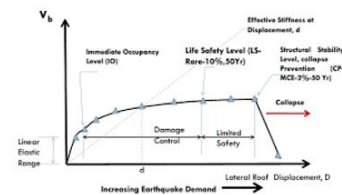
Gambar 2. Lokasi Gempa yang digunakan

a) Standar Perencanaan Gedung

Kontrol Standar dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan standar yang relevan, yaitu SNI 2847:2019 untuk perencanaan gedung, SNI 1726:2019 untuk perencanaan bangunan tahan gempa, dan SNI 1727:2020 untuk perencanaan pembebanan. Standar-standar ini digunakan untuk memastikan bahwa perencanaan gedung, evaluasi ketahanan seismik, dan perhitungan beban dilakukan sesuai dengan pedoman yang berlaku dan menghasilkan bangunan yang aman dan sesuai dengan persyaratan teknis.

b) Analysis Pushover dengan Metode ATC-40

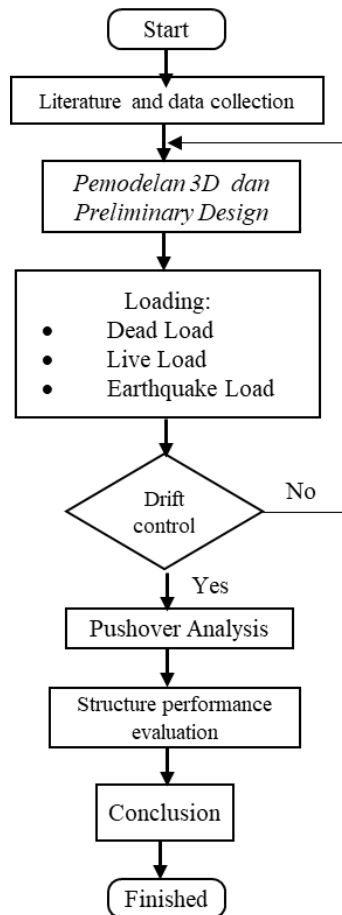
Kinerja struktur mengacu pada kemampuan suatu bangunan dalam menghadapi gempa rencana. Tingkatan kinerja ini ditentukan dengan mengevaluasi tingkat kerusakan yang dialami struktur selama gempa pada periode tertentu. Oleh karena itu, tingkat kinerja struktur berhubungan erat dengan biaya perbaikan yang diperlukan setelah gempa. Dalam desain struktur berbasis kinerja, kinerja biasanya dirancang sesuai dengan tujuan dan fungsi bangunan, dengan mempertimbangkan aspek ekonomis perbaikan setelah gempa, tanpa mengabaikan keselamatan penghuni bangunan (Tavio, Usman Wijaya, 2018).



Gambar 3. Tipikal Kurva Kapasitas Tingkat Kinerja Struktur

c) Flowchart Penelitian

Berikut bagan alir penelitian yang dilakukan mulai dari awal hingga selesai.



Gambar 4. Tipikal Kurva Kapasitas Tingkat Kinerja Struktur

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Desain Gedung dan Pembebanan

Desain gedung 3D dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS dan Preliminary Design dengan ukuran balok adalah 250x400 mm, ukuran kolom adalah 650x650 mm, ukuran dinding geser adalah 350 mm, dan ukuran plat lantai adalah 120 mm. Pengecekan batasan dimensi Preliminary Design dilakukan sesuai dengan standar SNI 2847:2019, yaitu untuk balok sesuai pasal 18.6.2, kolom sesuai

pasal 18.7.2, shearwall sesuai pasal 11.3.1, dan plat sesuai pasal 18.3.

Pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1727:2020. Untuk beban mati, beban beton bertulang (beban sendiri) adalah 23.6 kN, beban keramik, MEP, dan plafon lantai adalah 1.44 kN, beban MEP dan plafon atap adalah 0.39 kN, dan beban dinding adalah 7.13 kN/m. Untuk beban hidup, lantai 2-10 dengan ruang kantor memiliki beban 2.4 kN/m², sedangkan atap memiliki beban 3.4 kN/m².

b. Beban Gempa Lateral

Dari tabel yang dapat dilihat bahwa besar beban gempa nstatik ekivalen yang diberikan pada Gedung tersebut dari lantai 2 hingga Atap yaitu 46.353 Kn – 769.709 Kn pada arah X dan Y.

Tabel 1. Beban Gempa Lateral arah X dan arah Y

Level	H _i	H _p	W _i (Kn)	W _i /H _i	C _v	F _{x+y}
Atap	35	141.040	3909.156	551347.936	0.176	769.709
10	31.5	121.800	4947.265	602578.329	0.192	841.230
9	28	103.382	4947.265	511457.083	0.163	714.020
8	24.5	85.846	4947.265	424702.099	0.136	592.905
7	21	69.267	4947.265	342684.512	0.109	478.405
6	17.5	53.741	4947.265	265872.967	0.085	371.172
5	14	39.392	4947.265	194883.667	0.062	272.067
4	10.5	26.393	4947.265	130575.207	0.042	182.290
3	7	15.010	4947.265	74257.733	0.024	103.668
2	3.5	5.719	5805.375	33202.667	0.011	46.353
Base 1	0	0	0	0	0	0
Jumlah			44835.576	3131562.2	1	4371.818

c. Pengecekan Nilai Ragam

Dalam penelitian ini, jumlah ragam telah memenuhi kriteria yang ditetapkan sesuai dengan tabel berikut:

Tabel 2. Nilai ragam

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumX	SumY	SumZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Model 1	1	1.284	0.00000004	0.6975	0	0.00000004	0.6975	0	0.3347	0.00000000	0	0.3347	0.00000000	0
Model 2	1.284	0.9979	0.00000004	0	0.6975	0.6975	0	0.00000000	0.3347	0	0.3347	0.3347	0.3347	0
Model 3	0.946	0	0	0	0.6975	0.6975	0	0	0	0.6884	0.3347	0.3347	0.6884	0.6884
Model 4	0.313	0.00000048	0.1804	0	0.6975	0.8781	0	0.3372	0.00000000	0	0.6919	0.3347	0.6884	0.6884
Model 5	0.313	0.1806	0.00000048	0	0.8781	0.8781	0	0.00000000	0.3372	0	0.6919	0.6919	0.6884	0.6884
Model 6	0.221	0	0	0	0.8781	0.8781	0	0	0	0.1924	0.6919	0.6919	0.8778	0.8778
Model 7	0.145	0	0.0009	0	0.8781	0.999	0	0.133	0	0	0.8249	0.9919	0.8778	0.8778
Model 8	0.145	0.0009	0	0	0.939	0.939	0	0.133	0	0	0.8249	0.8249	0.8778	0.8778
Model 9	0.1	0	0	0	0.939	0.939	0	0	0.0000	0	0.8249	0.8249	0.8247	0.8247
Model 10	0.089	0	0.0273	0	0.939	0.9664	0	0.0750	0	0	0.9011	0.8249	0.8247	0.8247
Model 11	0.089	0.0273	0	0	0.9664	0.9664	0	0	0.0750	0	0.9011	0.9011	0.8247	0.8247
Model 12	0.064	0	0.0243	0	0.9664	0.9807	0	0.0482	0	0	0.8454	0.9011	0.8247	0.8247

Lantai	H (m)	δ_x (x)	$\delta(x)$	$\Delta 1$ (x)	Δa (0.02Hx)	Keterangan
Atap	3.5	102.543	563.987	60.676	70	Yes
10	3.5	91.511	503.311	64.829	70	Yes
9	3.5	79.724	438.482	67.535	70	Yes
8	3.5	67.445	370.948	69.102	70	Yes
7	3.5	54.881	301.846	68.772	70	Yes
6	3.5	42.377	233.074	69.987	70	Yes
5	3.5	30.381	167.096	69.092	70	Yes
4	3.5	19.436	106.898	50.941	70	Yes
3	3.5	10.174	55.957	37.857	70	Yes
2	3.5	3.291	18.101	18.101	70	Yes
Base	0	0	0	0	0	Yes

Sumber: Pengolahan data

d. Pengecekan ketidakberaturan

Pengecekan terhadap horizontal dan vertikal sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.3.2. Dari hasil perhitungan sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.3.2 dalam pengecekan Ketidak beraturan Horizontal dan Ketidak beraturan Vertikal diambil Kesimpulan bahwa **TIDAK TERJADI KETIDAK BERATURAN.**

Berdasarkan perhitungan sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019, seperti yang ditunjukkan pada tabel arah x di atas, dapat disimpulkan bahwa semua lantai memenuhi batas kinerja struktur yang ditetapkan. Nilai tertinggi yang terukur, yaitu $\Delta = 69,987$ mm, tidak melebihi batas kontrol yang diizinkan menurut Pasal 7.12.1 SNI 1726:2019, dengan ambang batas $\Delta a = 70$ mm.

e. Kontrol Simpangan antar Lantai (□)

Berdasarkan hasil analisis, terdapat perbedaan simpangan antar lantai. Mengacu pada SNI 1726-2019, dalam perencanaan pembebanan gempa, penting untuk melakukan pemeriksaan terhadap kinerja batas struktur bangunan yang dianalisis. Perhitungannya dapat dilihat dalam tabel berikut:

f. Mekanisme Sendi Plastis

Skema distribusi sendi plastis dalam analisis pushover ditunjukkan pada gambar yang menggambarkan perilaku struktur sesuai dengan konsep bangunan tahan gempa, yaitu strong column - weak beam. Pada gambar, titik berwarna hijau terletak pada balok, menunjukkan bahwa dalam kejadian gempa, balok tersebut akan menjadi bagian yang pertama kali mengalami keruntuhan. Dengan demikian, konsep strong column - weak beam yang direncanakan dapat tercapai.

Tabel 3. Kontrol Drift

g. Nilai Kurva Kapasitas

Kurva Kapasitas (capacity curve) adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara perpindahan lateral lantai teratas (displacement) dan gaya geser (base shear) seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

Tabel 4. Nilai Kurva Kapasitas

Sep	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	1236	0	0	0	0	1236	0	0	0	1236
1	-36.845	2891.1887	1234	2	0	0	0	1236	0	0	0	1236
2	-107.076	8283.9552	1086	150	0	0	0	1236	0	0	0	1236
3	-177.878	13092.318	758	478	0	0	0	1234	0	0	2	1236
4	-303.752	21167.683	626	610	0	0	0	1234	0	0	2	1236
5	-381.682	26123.337	582	654	0	0	0	1230	4	0	2	1236
6	-381.729	26126.332	582	654	0	0	0	1228	4	0	4	1236

h. Evaluasi Kinerja Struktur

Evaluasi kinerja struktur dilakukan untuk menilai performa dari struktur yang telah didesain. Dalam penelitian ini, evaluasi kinerja struktur dilakukan dengan menggunakan metode ATC-40.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Kinerja

Arah	Parameter	Hasil Analysis Pushover ATC-40
Arah x-x	Target perpindahan Δ (mm)	381.729
	Drift actual (Δ/T_{tot})	0.011
	Level Kinerja	Immediate Occupancy (IO)
Arah y-y	Target perpindahan Δ (mm)	381.729
	Drift actual (Δ_m/T_{tot})	0.011
	Level Kinerja	Immediate Occupancy (IO)

Berdasarkan tabel di atas, dengan Drift Actual sebesar 0.011 sesuai dengan ketentuan ATC-40, dapat disimpulkan bahwa level kinerja gedung dalam arah x-x dan y-y berada pada kategori Immediate Occupancy (IO). Ini menunjukkan bahwa

bangunan tetap aman saat terjadi gempa, dengan risiko minimal terhadap korban jiwa dan kegagalan struktur. Bangunan tidak mengalami kerusakan signifikan dan dapat segera digunakan kembali tanpa perlu perbaikan, serta kekuatan dan kekakuan struktur hampir sama seperti sebelum gempa terjadi.

KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi kinerja struktur sesuai dengan ketentuan ATC-40, level kinerja gedung pada arah x-x dan y-y berada pada Drift Actual sebesar 0.011 dalam kategori Immediate Occupancy (IO). Ini menunjukkan bahwa gedung tetap aman saat terjadi gempa, dengan risiko sangat rendah terhadap korban jiwa dan kegagalan struktur. Bangunan tidak mengalami kerusakan signifikan dan bisa segera digunakan kembali tanpa perlu perbaikan, serta kekuatan dan kekakuannya hampir sama seperti sebelum gempa.

Tingkat kerawanan atau kinerja struktur gedung yang dirancang sangat aman. Menurut ATC-40, untuk gedung perkantoran, fase Life Safety (LS) diperbolehkan, dengan nilai IO sebesar 0.01 dan nilai LS sebesar 0.02. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa tingkat kinerja gedung berada pada kategori Immediate Occupancy (IO), yang sangat aman.

DAFTAR PUSTAKA

Berikut aturan penulisan Daftar Pustaka di Jurnal Inovasi Pembangunan. Tulis sesuai urutan ALFABET.

Artikel jurnal:

Budiono, B., dan Supriatna, L., (2016).

Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa, Penerbit ITB Press, Bandung.

Computer and Structures, Inc. (2020).

SAP20 version 20 Manual. Computer and Structures, Inc., Berkeley, C.A.

Fajfar, P., (2002). Structural analysis in

earthquake engineering—a breakthrough of simplified non-linear method. In: 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper Ref: 843

Pranata, YA. 2010, Diktat Analisa Struktur

3. Universitas Kristen Maranatha : Bandung.

PUSKIM (2021). Desain Spektra Indonesia.

<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>

Schueller, W., 1989. Struktur Bangunan

Bertingkat Tinggi. PT Eresco : Bandung.

Standar Nasional Indonesia 1726 (2019).

Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan

Gedung dan Nongedung. In Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 1727 (2020).

Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. In Badan Standardisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia 2847 (2019).

Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. In Badan Standarisasi Nasional.

Tavio & Wijaya, U. 2018. Desain Rekayasa

Gempa Berbasis Kinerja. CV. Andi Offset, Yogyakarta

Ulza, A. (2021). Teori dan Praktik Evaluasi

Struktur Beton Bertulang Berbasis Kinerja. Yogyakarta: Deepublish.

Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M.

S. D., & Ray, N. (2020). Evaluasi

Simpangan Pada Bangunan

Bertingkat Beton Bertulang

berdasarkan Analisis Pushover

dengan Metode ATC-40. Ge-

STRAM: Jurnal Perencanaan Dan

Rekayasa Sipil, 3(2), 53–57.

<https://doi.org/10.25139/jprs.v3i2.24>

[75](#)