

ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL

Fidelis Rau, I Made Sastra Wibawa, I Ketut Diartama Kubon Tubuh, I Made Nada

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar
Email: indheknana@gmail.com

ABSTRAK: Indonesia termasuk salah satu negara yang rawan gempa karena dilintasi oleh titik pertemuan 3 lempeng struktur, tepatnya: Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik tempat Lempeng Indo-Australia bergerak ke utara dan bersilangan. lempeng Eurasia, sedangkan lempeng Pasifik bergerak cukup ke samping. ke arah barat, hal ini menjadikan Indonesia salah satu negara yang memiliki resiko gempa yang cukup tinggi. Dampak kuat gempa pada struktur akan berbeda bila diterapkan pada struktur beraturan dan tidak beraturan. Kinerja struktur bangunan biasa akan berbeda dengan struktur bangunan tidak beraturan (Purba, 2014). Dalam peraturan perencanaan struktur tahan gempa diatur dalam SNI 1726 - 2019 tentang penyimpangan struktur dimana dalam peraturan ini terdapat dua macam ketidakberaturan struktur yaitu ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Dalam penelitian ini, saya akan menganalisis empat jenis struktur, yaitu struktur bangunan beraturan (MB), struktur bangunan berbentuk L (ML), struktur bangunan berbentuk C (MC) dan struktur bangunan berbentuk O (MO). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari struktur gedung beraturan dan yang tidak beraturan horizontal yang dilihat dari displacement, drift, ratio, base shear, dan penentuan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40. Hasil dari penelitian ini berdasarkan analisis pushover menunjukkan bahwa struktur gedung MB memiliki kekakuan yang sangat baik diantara struktur gedung lainnya, sedangkan penentuan tingkat kinerja berdasarkan metode ATC-40 menunjukkan semua struktur gedung tergolong ke level kinerja Damage Control (DC).

Kata kunci: *Analisi pushover, Sendi plastis, kapasitas spektrum ATC 40*

ABSTRACT: *Indonesia is one of the countries that is prone to earthquakes because it is crossed by the meeting point of 3 structural plates, to be precise: the Indo-Australian Plate, the Eurasian Plate, and the Pacific Plate where the Indo-Australian Plate moves north and crosses. the Eurasian plate, while the Pacific plate is moving quite sideways. to the west, this makes Indonesia one of the countries that have a fairly high earthquake risk. The impact of earthquake strength on structures will be different when applied to regular and irregular structures. The performance of ordinary building structures will be different from irregular building structures (Purba, 2014). In the regulations for planning earthquake resistant structures, it is regulated in SNI 1726 - 2019 regarding structural irregularities where in this regulation there are two kinds of structural irregularities, namely horizontal and vertical irregularities. In this study, I will analyze four types of structures, namely regular building structures (MB), L-shaped building structures (ML), C-shaped building structures (MC) and O-shaped building structures (MO). This research was conducted to determine the performance of horizontally irregular and irregular building structures seen from displacement, drift, ratio, base shear, and determining the level of structural performance based on ATC-40. The results of this study based on pushover analysis show that the MB building structure has excellent stiffness among other building structures, while the determination of the performance level based on the ATC-40 method shows that all building structures are classified as Damage Control (DC) performance levels.*

Keywords: *Pushover analysis, Plastic joint, ATC spectrum capacity 40*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang terbesar di dunia dan masih fokus membangun struktur dan kerangka ekonomi, seperti yang terlihat dari perbaikan infrastruktur di seluruh Indonesia. Namun, Indonesia juga merupakan negara yang sering terjadi bencana seperti gempa bumi. Hal ini karena Indonesia terletak di antara pertemuan tiga lempeng, yaitu; Lempeng Eurasia, Indo-Aurian, dan Pasifik. Kekuatan struktur dipengaruhi oleh kondisi geografis, bahan yang digunakan dan

dimensi setiap elemen struktur. Bangunan yang memiliki struktur tahan gempa direncanakan dengan perencanaan struktur dan perkuatan yang detail dan baik sesuai dengan BSN, (2019) tentang persyaratan beton bertulang dan BSN, (2019) tentang cara merencanakan ketahanan gempa dan BSN, (2020) tentang pembebanan.

Dalam perencanaan ini, saya akan mengkaji beberapa bentuk bangunan yang diperuntukan untuk hotel yang memiliki ketidakberaturan horizontal, seperti struktur bangunan berbentuk L (ML) yang termasuk

dalam ketidakberaturan horizontal sudut dalam, sedangkan C (MC) yang tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma, dan O (MO) termasuk ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma.

Kinerja struktur yang dihasilkan untuk bangunan tidak beraturan akan berbeda dengan bangunan beraturan untuk intensitas beban yang sama, misalnya jika dibandingkan dengan displacement, drift, dan tulangan (Purba, 2014). Analisis pushover berdasarkan program software SAP 2000 yang menganalisis perilaku atau kinerja inelastis struktur bangunan dari intensitas gempa untuk mengetahui tingkat kinerja bangunan pada saat kondisi kritis. Analisis pushover mengacu pada peraturan penghitungan teknologi terapan (ATC). Tingkat kinerja yang ditentukan adalah: level *immediate occupancy* (IO), level *life safety* (LS), dan level *collapse prevention* (CP).

Dari latar belakang yang ada maka diperlukan adanya penelitian lebih lanjut agar mengetahui kinerja dari struktur gedung yang beraturan dan yang memiliki ketidakberaturan secara horizontal.

STRUKTUR GEDUNG TIDAK BERATURAN

(Pawirodikromo, 2012), menjelaskan bahwa struktur bangunan gedung dapat diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan pada umumnya memiliki lebih dari 1 massa/gatra/balok dengan denah tidak sederhana, meskipun masih simetris baik simetri 2 arah maupun 1 arah. Kriteria ini harus didasarkan pada konfigurasi struktur bangunan yang horizontal dan vertikal. Berdasarkan (BSN, 2019), suatu struktur dikatakan memiliki ketidakberaturan horizontal jika struktur tersebut memiliki satu atau lebih jenis ketidakberaturan.

ANALISIS PUSHOVER

Metode *analisis pushover* adalah suatu analisis dimana beban dorong yang menganalisis pengaruh gempa yang direncanakan pada struktur bangunan dianggap sebagai beban statis pada setiap lantai atau setiap lantai bangunan, nilai beban statis dinaikkan secara bertahap sampai melebihi beban dan menyebabkan pelepasan (sendi plastis) pertama, sampai menjadi pasca elastis yang sangat besar hingga mencapai target plastis yang diharapkan. Analisis pushover

mengacu pada peraturan ATC 40 yang meliputi sendi plastis dan pengaturan beban pada beban nonlinier dimana akan digunakan efek $P-\Delta$ dan penentuan target perpindahan untuk setiap arah X dan arah Y dengan hasil analisis ini berupa kurva *pushover* yang terjadi akibat reaksi antara gaya geser dasar dan perpindahan.

SENDI PLASTIS

Sendi plastis terbentuk ketika beban melebihi kapasitas elemen struktur kolom dan balok. Hal yang paling penting adalah kolom harus lebih kuat dari balok sehingga struktur masih tetap berdiri ketika terjadi gempa. Jika kolom yang pertama kali runtuh maka bangunan akan langsung runtuh, tetapi ketika balok pertama runtuh maka bangunan tidak langsung runtuh. Jadi dalam perencanaan struktur bangunan yang paling penting adalah kolom harus lebih kuat dari balok. Mekanisme tahap perubahan sendi plastis dimulai dari ujung balok kemudian setelah sebagian besar balok berada pada fase pasca elastik, akan terjadi pada kolom mulai dari kaki kolom di lantai dasar. Sendi plastis terjadi ketika kekuatan leleh pada suatu titik dalam suatu elemen tercapai sehingga kekuatannya tidak bertambah tetapi regangannya dapat ditingkatkan. Pada bangunan beton bertulang sendi plastis ini terjadi ketika respon struktur berada pada fase *inelastis*, diawali dengan leleh tulangan tarik (Hajati, N.L, 2013).

DAKTILITAS

Daktilitas bangunan adalah kemampuan suatu struktur bangunan untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang-ulang dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya leleh pertama, dengan tetap mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga bangunan tetap berdiri, walaupun sudah berdiri di ambang keruntuhan. Perencanaan yang baik harus dilakukan dengan konsep kolom kuat balok lemah, yaitu kapasitas kolom yang melebihi kapasitas struktur yang terjadi dengan perencanaan sendi plastis pada struktur balok agar bangunan memiliki daktilitas yang tinggi. .

Berdasarkan (BSN, 2019), bahwa diafragma horizontal atau elemen struktur lainnya harus memberikan kontinuitas dan harus memiliki kekuatan dan daktilitas yang cukup untuk menyalurkan gaya dari satu komponen ke komponen lainnya.

METODE ANALISIS APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC 40)

Metode analisis *applied technology council* (ATC 40) adalah desain kinerja struktur bangunan dengan *capacity spektrum* untuk mengetahui peralihan aktual dari struktur gedung. Peralihan aktual yang dimaksud adalah besarnya simpangan pada struktur. Berikut cara rumus menghitung *performance level* kinerja struktur berdasarkan metode analisis ATC 40 yaitu :

- a. *Drift maximum*

$$D = \frac{Dt}{H} \dots\dots\dots (1)$$

- b. *Maximum inelastic drift*

$$MID = \frac{Dt - D1}{H} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan ;

- D : Simpangan / perpindahan (*drift*)
- D1 : Perpindahan periode 1
- H : Tinggi bangunan (m)
- MID : Simpangan / perpindahan maksimum (*maximum inelastic drift*)

Menentukan *performance point*, dimana pada tahap ini literasi dilakukan sesuai prosedur ATC 40 dengan plot spektrum permintaan dengan nilai redaman 5% sesuai dengan kondisi tanah dan daerah gempa, kemudian menggabungkan *demand spectrum* dengan *capacity spectrum* untuk menentukan *performance point* lalu ubah titik kinerja menjadi deviasi atau Ubah *performance point* menjadi simpangan. Berikut tabel batas proporsi pelampung berdasarkan regulasi ATC 40, yaitu:

Tabel 1. Batasan rasio *drift* ATC 40

Parameter	Performance Level			
	IO	DC	LS	SB
Maksimum Total Drift	0,01	0,01 s.d 0,002	0,02	0,33 Vi/Pi
Maksimum Total Inelastik Drift	0,005	0,005 s.d 0,015	No Limit	No Limit

Sumber : (ATC 40, 1996)

Keterangan :

- IO : *Immediate occupancy*
- LS : *Life safety*
- DC : *Damage control*
- SB : *Structural stability*

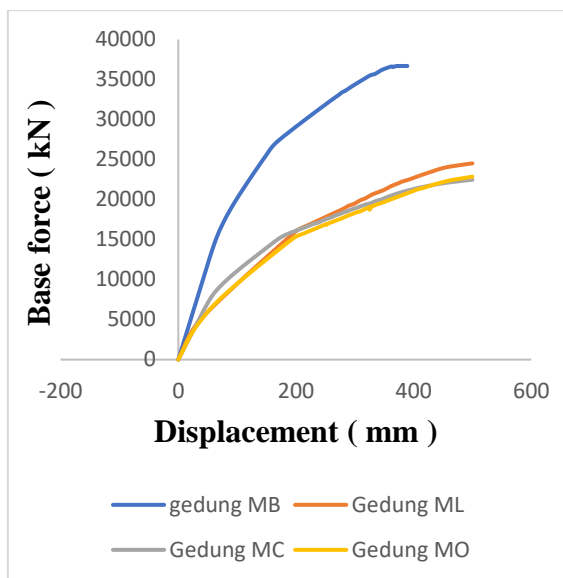
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan meneliti tentang struktur gedung beraturan dan ketidak beraturan horizontal diantaranya struktur gedung berbentuk L (ML) yang tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal sudut dalam, sedangkan C (MC) tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma, dan O (MO) tergolong kedalam ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma. Analisis dimulai dengan proses studi literatur dan tahap pengumpulan data-data awal yang dibutuhkan dalam perencanaan struktur gedung, yaitu berupa pendefinisian karakteristik material seperti tulangan, dan beton pada program SAP2000. Proses analisis yang dilakukan selajutnya yaitu melakukan pemodelan struktur menggunakan software SAP2000. Titik kinerja (*performance point*) ditentukan dengan Metode *Spektrum Kapasitas* berdasarkan ATC-40 (1996).

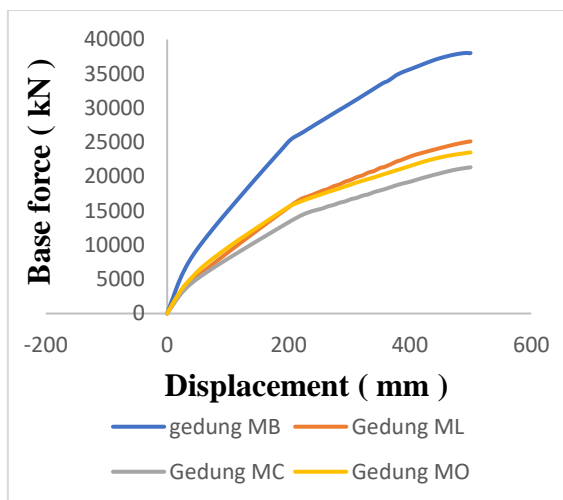
HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL ANALISIS STATIK NONLINEAR PUSHOVER

Berdasarkan hasil analisis program *software* SAP 2000 dengan *Analisis Statik Nonlinear Pushover* maka didapatkan hasil bahwa kinerja struktur arah X pada gedung MB memiliki kekakuan yang paling kuat diantar struktur gedung lainnya dan hasil yang sama yang didapatkan pada arah Y yaitu struktur gedung MB memiliki tingkat kekakuan yang paling kuat, dan dapat disimpulkan bahwa kinerja struktur gedung MB lebih baik dari struktur gedung ML, MC, dan MO seperti yang terlihat pada grafik berikut ini.



Gambar 1. Kurva hasil perbandingan pushover arah X



Gambar 2. Kurva hasil perbandingan pushover arah Y

HASIL ANALISIS APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC 40)

Berdasarkan hasil analisis program *software* SAP 2000 dengan Analisis *Statik Nonlinear Pushover* dengan metode *analisis Applied Technology Council (ATC 40)* pada penelitian ini maka didapatkan hasil struktur gedung MB, ML, MC, dan MO memiliki level kinerja yang sama yaitu tergolong ke level kinerja *Damage Control (DC)* dimana terjadi kerusakan minor seperti terjadi kerusakan non struktural dan bisah juga terjadi kerusakan struktural namun masih dapat di perbaiki, dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa

hasil penelitian ini masih aman untuk digunakan.

Tabel 2. Perbandingan kinerja struktur dengan metode ATC - 40

Jenis Bangunan	Uraian	Kinerja Struktur (Performance Level)			
		Nilai	Kontrol	Kinerja	
Beraturan	Maximum Drift (X)	0,0115	0,01 s.d 0,002	DC	
	Maximum In-elastic Drift (X)	0,0111	0,01 s.d 0,002	DC	
	Maximum Drift (Y)	0,0135	0,01 s.d 0,002	DC	
	Maximum In-elastic Drift (Y)	0,0131	0,01 s.d 0,002	DC	
	L	Maximum Drift (X)	0,01	0,01 s.d 0,002	DC
		Maximum In-elastic Drift (X)	0,0131	0,01 s.d 0,002	DC
		Maximum Drift (Y)	0,01	0,01 s.d 0,002	DC
		Maximum In-elastic Drift (Y)	0,0134	0,01 s.d 0,002	DC
C	Maximum Drift (X)	0,01	0,01 s.d 0,002	DC	
	Maximum In-elastic Drift (X)	0,0104	0,01 s.d 0,002	DC	
	Maximum Drift (Y)	0,01	0,01 s.d 0,002	DC	
	Maximum In-elastic Drift (Y)	0,0124	0,01 s.d 0,002	DC	

Jenis Bangunan	Uraian	Kinerja Struktur (Performance Level)		
		Nilai	Kontrol	Kinerja
O	Maximum Drift (X)	0,0117	0,01 s.d 0,002	DC
	Maximum In-elastic Drift (X)	0,0113	0,01 s.d 0,002	DC
	Maximum Drift (Y)	0,0115	0,01 s.d 0,002	DC
	Maximum In-elastic Drift (Y)	0,0111	0,01 s.d 0,002	DC

SIMPULAN

Berdasarkan hasil Analisis dan pembahasan pada Analisis Perilaku Dan Kinerja Struktur Gedung Dengan Ketidakberaturan Horizontal didapatkan kesimpulan berikut yaitu :

1. Berdasarkan hasil analisis program *software* SAP 2000 dengan Analisis *Statik Nonlinear Pushover* maka didapatkan hasil bahwa kinerja struktur arah X pada gedung MB memiliki kekakuan yang paling kuat diantara struktur gedung lainnya sedangkan pada arah Y struktur gedung MB memiliki tingkat kekakuan yang paling kuat diantara struktur gedung lainnya.
2. Berdasarkan hasil analisis program *software* SAP 2000 dengan Analisis *Statik Nonlinear Pushover* dengan metode analisis *Applied Technology Council (ATC 40)* maka didapatkan hasil struktur gedung MB, ML, MC, dan MO memiliki level kinerja yang sama yaitu tergolong ke level kinerja *Damage Control (DC)* dimana terjadi kerusakan minor seperti terjadi kerusakan non struktural dan bisa juga terjadi kerusakan struktural namun masih dapat di perbaiki.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa sarahn dari yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Dalam penelitian ini Analisis *Statik Nonlinear Pushover* menggunakan metode *Applied Technology Council (ATC 40)*, (1996), disarankan agar peneliti berikutnya menggunakan metode yang berbeda seperti Federal Emergency Management Agency (FEMA 356) dan Federal Emergency Management Agency (FEMA 440).
2. Penelitian selanjutnya diharapkan untuk melakukan analisis *Statik Nonlinear Pushover* dengan perbandingan berapa besar pengaruh peta zonasi gempa yang lama dengan peta zonasi gempa terbaru terhadap kinerja struktur bangunan gedung dengan daerah intensitas tinggi rawan gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

SCE/SEI 41-06 (2007). *Errata for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. In Seismik Rehabilitation of Existing Buildings

ATC-40. 1996. *Seismik Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1. California. Seismik Safety Commission State of California

Bayong. 2006. *Gempa Bumi* <http://digilib.unila.ac.id/15873/2/2.pdf>. Diakses tanggal 16 April 2022.

(BSN), B. S. N. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*. Standar Nasional Indonesia (SNI), 8, 653–659.

Badan Standarisasi Nasional-A. (2019). *perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi , pemeliharaan dan penilaian kelayakan dan bangunan gedung dan nongedung sebagai revisi struktur bangunan gedung dan nongedung; (Lembarahn Negarah Republik Indonesia Tahun. 8, Herman Kurnianto, D., Teoretis dan Terapan Bidan.*

Madra, Y. M. (2003). Encircling the real. *Rethinking Marxism*, 15(3), 316–325. <https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>

Pangestu, S. F., & Pratama, M. M. A. (2021). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja*. *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 10(2), 91–100.

PPIUG. (1983). *Peraturan-Pembebanan-Indonesia-1983* (pp. 3–32).

Purba, H. L. (2014). *Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Beraturan dan*

- Tidakberaturan Horizontal. Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(4), 710–717.
- Putra, M. D. P. (2018). *Perbandingan Struktur Bangunan Tidak Beraturan Horizontal Berbentuk "L" Terhadap Kondisi Sistem Rigid Floor, Flexural Floo, dan Sistem Dinding Geser*. <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/327>.
- SNI 1726-2019. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.
- SNI, 1727. (2020). *Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standarisasi Nasional 1727:2020, 8, 1–336.