

EVALUASI STRUKTUR BETON BERTULANG TAHAN GEMPA DENGAN ANALISA PUSHOVER

Mufti Amir Sultan

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Khairun

muftiaslt@gmail.com

Abstrak— Perencanaan gedung tahan gempa di Indonesia sangat penting karena sebagian besar wilayahnya merupakan wilayah gempa yang mempunyai intensitas moderat hingga tinggi. Untuk itu dilakukan studi pada gedung beton bertulang terletak pada daerah wilayah Maluku Utara dengan sistem struktur rangka khusus. Gedung didesain sesuai SNI 1726 (2002) dan SNI 03-2874 (2002). Perilaku seismiknya dievaluasi memakai evaluasi kinerja memanfaatkan pushover analysis pada program SAP2000.

Analisa pushover (beban dorong statik) adalah analisa statik nonlinier perilaku keruntuhan struktur terhadap gempa, sedangkan titik kinerja adalah besarnya perpindahan maksimum struktur saat gempa rencana.

Dari hasil pemodelan menunjukkan bahwa konsep *strong colum weak beam* pada struktur ini memenuhi. Displacement pada titik no. 125 bergeser sebesar 8,72 cm setelah struktur runtuh

Kata kunci— Pushover Analysis, Beton bertulang, SAP

I. PENDAHULUAN

Dalam peraturan standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung, disebutkan bahwa Indonesia adalah salah satu negara yang sebagian besar wilayahnya merupakan wilayah dengan resiko gempa tinggi[1]. Oleh karena itu, diperlukan suatu proses perencanaan struktur yang mampu menahan gaya gempa rencana. Proses perencanaan struktur tersebut tidak lepas dari peraturan – peraturan yang mendukung yang berlaku di Indonesia, untuk bangunan konstruksi yang direncanakan menggunakan beton bertulang [2]. FEMA 273 dapat menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur adalah adalah *Operational (O)*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, *Collapse Pervention (CP)*[3].

Dalam menganalisis struktur bangunan gedung tahan gempa metode yang digunakan adalah *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)*. PBEE terbagi menjadi dua, yaitu *Performance Based Seismic Design (PBSD)* dan *Performance Based Seismic Evaluation (PBSE)*. Evaluasi pada PBSD salah satunya adalah dengan analisis nonlinier pushover.

Analisa *pushover* merupakan salah satu komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisa non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa), dengan memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Hasil akhir dari analisis ini berupa kurva kapasitas struktur (*capacity curve*) yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*). Melalui kurva kapasitas tersebut dapat diketahui kinerja dari struktur gedung yang dianalisis. Selain itu, analisa *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya. Metode analisa *pushover* dapat menghasilkan informasi yang sangat berguna karena mampu menggambarkan respons in-elastis bangunan ketika mengalami gempa [4]. Analisa Pushover adalah suatu analisis statik

nonlinear dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sapa melampaui pembebanan sampai pembebanan yang menyebabkan pelepasan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca elastik yang besar sampai mencapai kondisi elastik. Kemudian disusul pelepasan (sendi plastis) di lokasi yang lain distruktur tersebut [5].

Analisis pushover adalah analisis statik nonlinier dimana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelepasan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastis [6]

Program SAP2000 telah menyediakan fasilitas yang diperlukan untuk perencanaan berbasis kinerja seperti yang terdapat pada FEMA 273/356 , meskipun demikian ada beberapa hal yang masih memerlukan cara perhitungan manual seperti menentukan waktu getar alami efektif pasca leleh yaitu pembuatan kurva bi-linier berdasarkan kurva pushover dan menentukan titik evaluasi kinerja [7]. Dengan menggunakan analisa pushover dapat menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy (IO)*, sehingga bila terjadi gempa, gedung hanya mengalami sedikit kerusakan struktur dan nonstruktur, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dihuni kembali [8]. Dengan menggunakan analisa pushover didapatkan hasil bahwa penampang struktur mampu menahan beban beban yang diberikan, baik secara gravitasi maupun beban kombinasi gempa [9]. Dengan menggunakan analisa pushover pada bangunan hotel di Semarang menunjukkan bahwa konsep desain *strong colum weak beam* terpenuhi. Hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen balok yang kemudian pada saat mencapai performance point mayoritas elemen kolom dan balok terbentuk sendi plastis kemudian pada sebagian elemen balok mencapai kondisi batas in-elastis [10].

Penelitian dengan menggunakan program SAP2000 pada bangunan dengan *soft first story* menghasilkan distribusi sendi plastis sesuai yang diharapkan, yaitu sesuai dengan sistem kolom kuat balok lemah, karena terjadi keruntuhan pada balok dulu kemudian diikuti pada kolom [11]

Pada penelitian ini gedung yang dijadikan studi kasus adalah Bangunan di Ternate. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui *performance point* yang didapatkan dari pertemuan antara kurva kapasitas dan kurva respon spekturm dari bangunan tersebut dengan mengaju mengetahui distribusi sendi plastis pada gedung. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SAP2000 untuk membuat permodelan gedung yang diteliti.

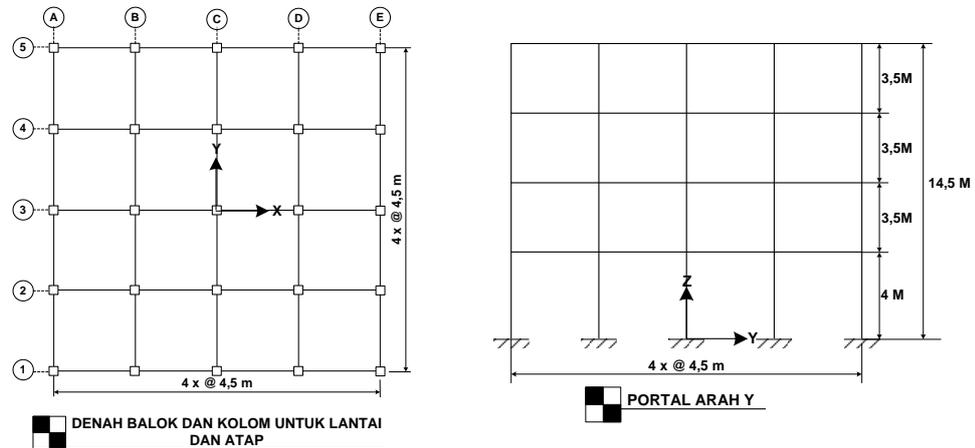
II. METODOLOGI

A. Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif, karena hasil penelitian yang dilakukan berupa angka atau bilangan yaitu merupakan hasil analisis struktur gedung dengan menggunakan program SAP 2000 Ver.11.

B. Pemodelan

Data struktur gedung dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini :



Gambar 1. Model Struktur

Tabel I. Deskripsi Gedung

Bangunan Perkantoran di Ternate		Satuan
Sistem Struktur	SPMRK	
Fungsi Gedung	Perkantoran	
Jumlah Lantai	4	
Tinggi Lantai Dasar	4,0	m
Tinggi Lantai 2 s.d 4	3,5	m
Beban Mati Pelat Atap	380	kg/m ²
Beban Mati Pelat Lantai	538	kg/m ²

Tabel II. Tebal Pelat dan Dimensi

Tipe	Tebal Pelat (mm)	Dimensi Balok (mm)	Dimensi Kolom (mm)
Pelat Atap	100		
Pelat Lantai 1	120		
Pelat Lantai 2	120		
Pelat Lantai 3	120		
Kolom			450 x 450
Balok Lantai		300 x 450	
Balok Atap		300 x 400	

Tabel III. Mutu Beton dan Baja

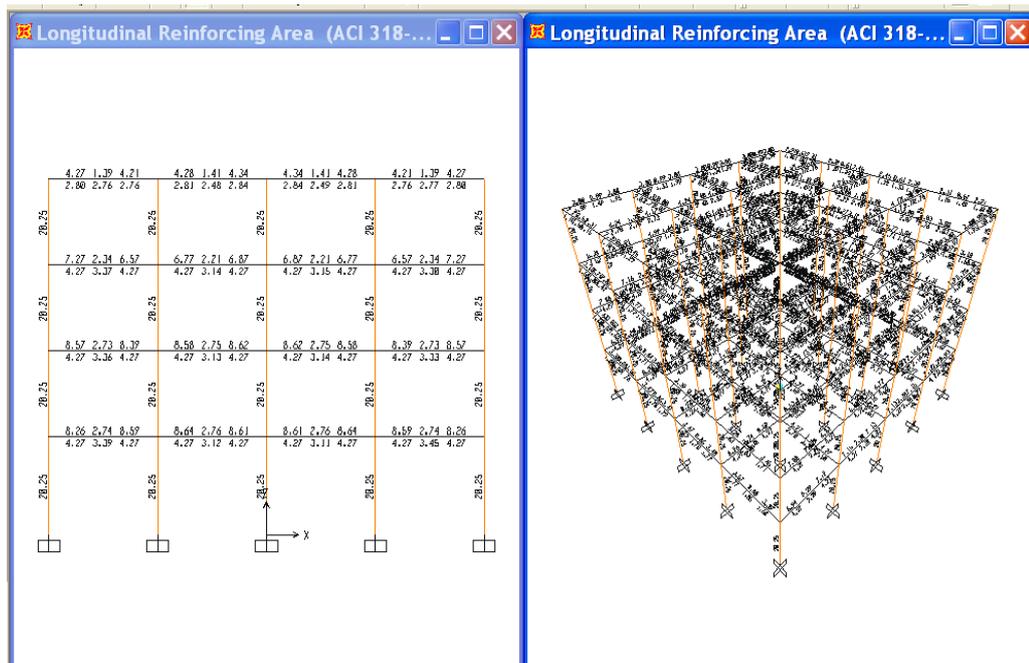
Fungsi	f'c (MPa)	fy (MPa)	fys (MPa)
Balok	30		
Kolom	30		
Tulangan Balok		400	240
Tulangan Kolom		400	400

Tabel IV. Distribusi Gaya Gempa

Lantai	F (kg)	FX 100% (kg)	FY 30% (kg)
Atap	19.839,00	19.839,00	5.951,70
Lantai 3	18.311,00	18.311,00	5.493,30
Lantai 2	12.485,00	12.485,00	3.743,50
Lantai 1	6.754,00	6.754,00	2.026,20

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Pushover



Gambar 2. Hasil desain penulangan pada portal

Dari analisa statik linear diperoleh kekuatan struktur (dimensi dan jumlah luas tulangan) seperti pada gambar 2 Selanjutnya dilakukan analisis pushover pada model gedung berdasarkan jumlah luas tulangan nominal yang diperoleh dari analisis dinamik. Dari analisis

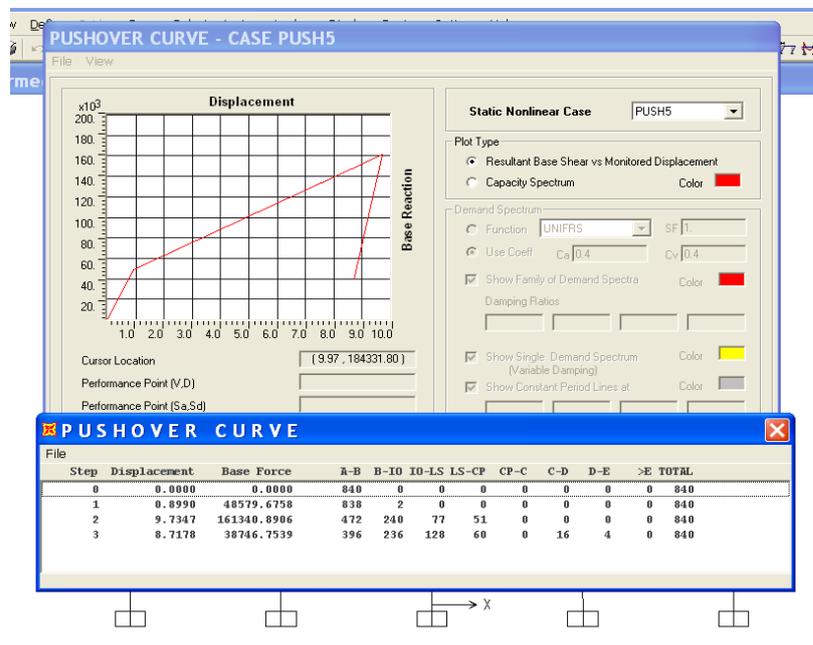
pushover diperoleh hasil berupa kurva kapasitas (capacity curve) dan skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi. Sendi plastis akibat momen lentur terjadi pada struktur jika beban yang bekerja melebihi kapasitas momen lentur yang ditinjau. Sesuai dengan metode perencanaan kolom kuat-balok lemah, untuk desain pada struktur berdaya tahan penuh mekanisme tingkat tidak diperkenankan terjadi.

Dari tabel 5 terlihat pergeseran titik yang ditinjau : titik 110 (atap) = 1,88 cm; titik 109 (lantai 3) = 1,61 cm; titik 108 (lantai 2) = 1,15 cm; titik 107 (lantai 1) = 0,55 cm dan titik 106 (lantai dasar) = 0 cm

Tabel V. Data Perpindahan Titik Hasil Analisis

Join	Kombinasi	U1 (cm)	U2 (cm)	U3 (cm)	R1 (radian)	R2 (radian)	R3 (radian)
106	COMB 1	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
107	COMB 1	0,55	0,08	-0,04	-0,0001	0,0013	-0,0001
108	COMB 1	1,15	0,17	-0,06	-0,0001	0,0011	-0,0001
109	COMB 1	1,61	0,23	-0,07	-0,0001	0,0007	-0,0001

B. Skema Distribusi Sendi Plastis



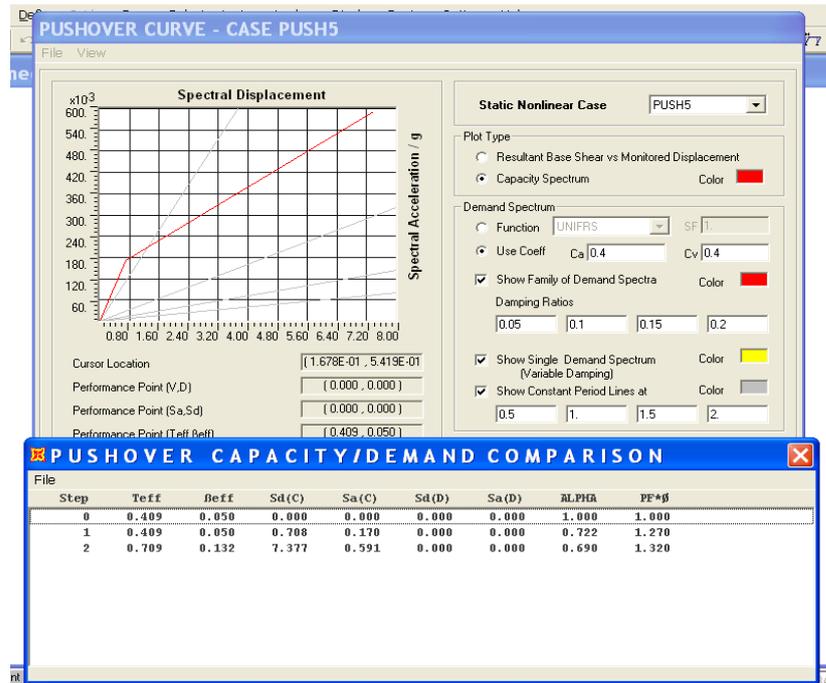
Gambar 6. Hasil kurva dan tabel hubungan reaksi perletakan dan pergeseran hasil pushover

Dari hasil analisis awal diperoleh bahwa $T_{Empiris} = 0,277$ detik lebih kecil dari 80 % $T_{Rayleigh} = 0,584$ detik sehingga beban gempa (PUSHPAT) dihitung ulang berdasarkan $T_{Rayleigh} = 0,277$ detik. Demikian juga fungsi dari Respon Spektrum harus direvisi berdasarkan $T_{Rayleigh}$.

Tinggi gedung = 14.5 m = 1450 cm

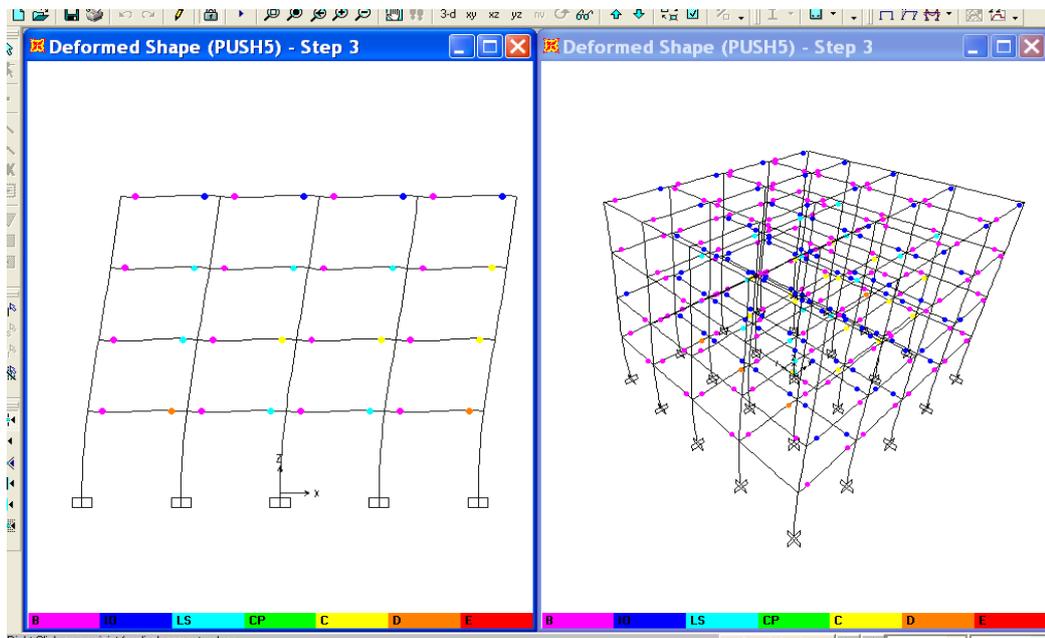
Pergeseran titik yang diberikan maksimum 3 % x 1450 = 43,50 cm

Dari proses analisis pushover dengan pergeseran yang diberikan 38 cm struktur sudah mengalami keruntuhan seperti pada gambar 6.



Gambar 7. Hasil curva dan tabel respon spektrum hasil pushover

Jumlah sendi plastis yang mengalami kegagalan sebanyak 4 titik pada gambar 7. Sendi plastis hanya terjadi pada balok dan tidak terjadi pada kolom. Setelah struktur mengalami kegagalan pergeseran titik yang ditinjau yaitu titik no. 110 sebesar 8,7178 cm dengan reaksi perletakan horisontal sebesar 38.746,739 kg (tabel pada gambar 7) lebih kecil dari beban gempa (pushpat) sebesar 57.388 kg.



Gambar 8. Distribusi Sendi Plastis

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa sendi plastis terjadi pada balok, sehingga kegagalan pada balok, jadi struktur yang dianalisis memenuhi struktur balok lemah kolom kuat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan maka dapat disimpulkan :

1. Evaluasi kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan mempengaruhi struktur bangunan gedung
2. Struktur runtuh dengan kegagalan pada balok, jadi struktur yang dianalisis memenuhi struktur balok lemah kolom kuat.
3. Perpindahan titik yang ditinjau yaitu titik no. 125 bergeser sebesar 8,72 cm setelah struktur runtuh.

Referensi

- [1] Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726)*, Standar Nasional Indonesia, 2002 .
- [2] Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847)*, Standar Nasional Indonesia, 2002.
- [3] FEMA-273, *NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings*, Report No. FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. 1996.
- [4] Applied Technology Council 40 (ATC 40), *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Volume 1. Redwood City, California, U.S.A.1996
- [5] Yosafat A. P, Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 1, pp : 41 – 52, 2006
- [6] Yosafat A.P., Studi Perencanaan Berbasis Kinerja pada Rangka Beton Bertulang dengan Metode Direct Displacement-Based Design, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.3 No.2,2006.
- [7] Wiryanto D, Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisis Pushover”, *Prosiding Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering*, Juni 2005, Semarang
- [8] Yunalia M, Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis Pushover”, *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*, pp: 68-75, 2012, Solo
- [9] Vicky R, Endah W dan Data I, Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Akibat Beban Gempa Padang, *Institut Sepuluh November Surabaya*, pp:1-6
- [10] Nissa Z.R., Edy P, Agus S., Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus Bangunan Hotel di Semarang), *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, pp:681-687, 2014
- [11] Hizki Y.M, Steenie E. W dan Reky S.W., Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story, *Jurnal Sipil Statik* Vol.2 No.4, pp:214-224, 2014.

Halaman ini sengaja di kosongkan