

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN ANALISIS PUSOVER (STUDI KASUS: GEDUNG BEDAH SENTRAL TERPADU RUMAH SAKIT BETHESDA YOGYAKARTA)

Masbudi¹⁾, Edy Purwanto²⁾, Agus Supriyadi³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)}Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-63524

Email : masbudi91@gmail.com

Abstrak

Gempa bumi menyebabkan kerusakan bangunan dan korban jiwa. Perencanaan gedung terhadap beban gempa sangat penting supaya saat terjadi gempa bangunan tidak runtuh dan tidak ada korban jiwa, terutama untuk gedung penting seperti Gedung Bedah Sentral Terpadu (GBST) Rumah Sakit (RS) Bethesda Yogyakarta. Gedung GBST RS Bethesda diharapkan tetap berfungsi dan tidak mengalami kerusakan yang berarti setelah terjadi gempa bumi. Pada perencanaan berbasis kinerja, level kinerja untuk bangunan rumah sakit adalah *Immediate Occupancy* (IO). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui level kinerja sebenarnya dari struktur GBST RS Bethesda Yogyakarta. Metode evaluasi yang digunakan adalah analisis statik non linier (*Pushover*). Beban lateral yang digunakan merupakan hasil dari analisis statik ekuivalen yang dikerjakan bertahap secara monotonik dalam 1 arah. Level kinerja ditentukan dengan dengan Metode Spektrum Kapasitas sesuai *Applied Technologi Council* (ATC 40,1996) yang menghasilkan titik kinerja (*Performance Point*) dan Metode Target Perpindahan sesuai *Federal Emergency Management Agency* (FEMA 356, 2000). Level kinerja gedung ditentukan dengan *drift ratio* yang disyaratkan oleh ATC 40 (1996). Hasil dari evaluasi sesuai ATC 40 (1996) pada arah X diperoleh nilai simpangan sebesar 0,174m, pada arah Y sebesar 0,185m sedangkan simpangan sesuai FEMA 356 (2000) untuk arah X sebesar 0,137m, arah Y sebesar 0,179m. Nilai *drift ratio* yang terjadi kurang dari 1% sesuai yang disyaratkan oleh ATC 40, sehingga level kinerja GBST Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta untuk gempa periode ulang 2500 tahun adalah *Immediate Occupancy*.

Kata kunci : level kinerja, *pushover*, *performance point*, Metode Spektrum Kapasitas, Metode Perpindahan, *drift ratio*.

Abstract

Earthquake causes damage to buildings and casualties. Design of buildings against earthquake loads is very important so during an earthquake the building does not collapse and no casualties. Especially for important buildings like the Integrated Central Surgical Building (GBST) Bethesda Hospital Yogyakarta is expected to keep functioning and have not experienced significant damage after the earthquake. In performance based design, level of performance for hospital buildings is *Immediate Occupancy* (IO). The purpose of this research is to know actually performance level of the structure GBST Bethesda Hospital in Yogyakarta. Evaluation method use is non-linear static analysis (*Pushover*). The lateral load determining by static equivalent analysis, the lateral load given monotonic in one direction step by step. Performance level determine in Capacity Spectrume Method according Applied Technologi Council (ATC 40,1996) the result is performance point and displacement targets method according Federal Emergency Management Agency (FEMA 356,2000). Structure performance level specified by drift ratio required by ATC 40 (1996). The result of evaluation according ATC 40 (1996) in the X direction obtained value of displacement at 0,174m, in the direction Y at 0,185m while the according FEMA 356 (2000) the displacement in direction X at 0,137m and Y direction at 0,179m. The value of drift ratio actual is less than 1% so the performance level for earthquake return period of 2500 years is the *Immediate Occupancy*.

Keywords : performance level, *pushover*, *performance point*, Capacity Spectrume Method, Displacement Method, drift ratio.

PENDAHULUAN

Perencanaan struktur gedung terhadap beban gempa sangat penting mengingat sebagian wilayah Indonesia terletak di wilayah gempa dengan intensitas tinggi hal ini dimaksudkan untuk dapat mencegah keruntuhan bangunan dan mencegah kehilangan nyawa penghuninya ketika terjadi gempa. Untuk gedung-gedung penting seperti rumah sakit seperti Gedung Bedah Sentral Terpadu Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta Level kinerja yang diharapkan adalah *Immediate Occupancy* (IO) untuk gempa periode 2500 tahun dimana jika terjadi gempa gedung ini masih tetap dapat berfungsi dan tidak mengalami kerusakan setelah terjadi gempa. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi sesuai dengan tuntutan level kerjanya.

METODE PENELITIAN

Metode pada penelitian ini dilakukan mengacu pada FEMA 310 (1998) dan FEMA 356 (2000), menurut FEMA 310 evaluasi terdiri dari 3 tahap tahap 1 (tahap *screening*) tahap ini terdiri dari *basic structural checklist* dan *supplemental structural checklist*. Tahap 2 (Tahap Evaluasi) pada tahap ini dilakkan perhitungan *Demand Capacity Ratio* (DCR) dengan menggunakan analisis linier statik ekuivalen dan linier dinamik respon spektrum, dilanjutkan Tahap 3 (Tahap Evaluasi Lebih Rinci) pada tahap ini digunakan analisis statik non linier yaitu *pushover*. Level kinerja ditentukan dengan dengan Metode Spektrum Kapasitas sesuai ATC 40 (1996) yang menghasilkan titik kinerja (*Performance Point*) dan Metode Target Perpindahan sesuai FEMA 356 (2000).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi bangunan GBST RS. Bethesda berada di Yogyakarta berfungsi sebagai rumah sakit, jumlah lantai 5 dengan tinggi 20,4m, material penyusun adalah beton bertulang dengan mutu beton 30 Mpa, mutu baja tulangan polos 240 MPa, Mutu Baja tulangan ulir 400 MPa. Parameter respon spektral percepatan gempa untuk wilayah Yogyakarta untuk $S_s = 1,219g$ dan $S_1 = 0,447g$. (Peta Gempa Indonesia, Puskim.pu.go.id)

TAHAP SCREENING

Tahap *screening* sesuai FEMA 310 (1998) dilakukan untuk menentukan apakah bangunan menjukan perlu dilakukan evaluasi atau tidak. Setiap hasil dari *checklist* ditandai dengan "*compliant*" (C) yang menunjukkan sesuai kriteria, "*Non Compliant*" (NC) yang menunjukkan memerlukan penyelidikan lebih lanjut.

Tabel 1. Hasil *Basic Structural Checklist*.

Kriteria	Keterangan	Penilaian
Lintasan beban	Struktur harus mempunyai satu lintasan beban yang lengkap untuk pengaruh gaya gempa dari setiap arah horizontal yang mampu menyalurkan gaya inersia dari massa ke pondasi	<i>Complaint (C)</i>
Bangunan bersebelahan	Bangunan yang bersebelahan tidak boleh terletak berdekatan dengan bangnan yang sedang dievaluasi, dengan jarak kurang lebih 4% dari tinggi bangunan.	<i>Not Compliant (NC)</i>
Tingkat lunak (<i>soft story</i>)	Kekakuan dari sistem pemikul gaya lateral pada setiap lantai tidak boleh kurang dari 70% dari kekakuan lantai diatas maupun dibawahnya, atau kurang 80% dari kekakuan rata-rata 3 lantai di atas atau di bawahnya.	<i>Non compliant (NC)</i>
Geometrik.	Tidak boleh terdapat perubahan pada dimensi horisontal dari sistem pemikul gaya lateral yang lebih dari 30% pada lantai tingkat relatif terhadap lantai terdekat.	<i>Compliant (C)</i>
Ketidaksinambungan vertikal.	Semua elemen vertikal pada sistem pemikul gaya lateral harus menerus ke pondasi.	<i>Comliabt (C)</i>
Massa	Tidak boleh terdapat perubahan pada massa efektif yang lebih dari 50% dari satu lantai tingkat ke lantai tingkat berikutnya.	<i>Non Compliant (NC)</i>
Guling (<i>torsion</i>)	Jarakantara pusat massa lantai dan pusat kekakuan harus kurang dari 20% dari lebar bangunan pada salah satu ukuran denah bangunan.	<i>Non Compliant (NC)</i>

Kerusakan pada beton	Tidak terdapat kerusakan yang nampak pada beton atau tulangan pada setiap elemen pemikul gaya lateral atau vertikal.	<i>Compliant (C)</i>
<i>Redundancy</i>	Jumlah <i>line</i> dari rangka momen pada setiap arah utama harus lebih atau sama dengan 2.	<i>Compliant (C)</i>
<i>Interfering wall</i>	Semua dinding pengisi pada rangka momen harus terpisah dari elemen struktur.	<i>Non Compliant (NC)</i>
Pemeriksaan tegangan geser.	Tegangan geser pada kolom beton yang dihitung menggunakan prosedur <i>quick check</i> harus kurang dari 100 psi atau $2\sqrt{f_c}$.	<i>Non Compliant (NC)</i>
Pemeriksaan aksial stres	Aksial stres pada kolom akibat guling harus kurang dari 0,1 f_c . Sebagai alternatif, aksial stress akibat guing yang dihitung dengan dengan prosedur <i>quick check</i> harus kurang dari 0,3 f_c .	<i>Non Compliant (NC)</i>
Kolom beton	Semua kolom beton harus diteruskan ke pondasi dan harus mampu mengembangkan kapasitas tarik kolom.	<i>Compliant (C)</i>

Tabel 2. Hasil *Supplemental Structural Checklist*.

Kriteria	Keterangan	Penilaian
<i>Flat slab frame</i>	Sistem pemikul gaya lateral tidak boleh berupa rangka yang terdiri dari kolom dan plat tanpa adanya balok.	<i>Compliant (C)</i>
<i>Short capative column</i>	Tidak ada kolom pada lantai yang rasio tinggi kurang dari 50% dari rasio tinggi nominal kolom tipikal untuk <i>Life Safety</i> dan 75% untuk <i>Immediate Occupancy</i> .	<i>Non Compliant (NC)</i>
Sambungan tulangan kolom	Panjang sambungan lewatan tulangan kolom harus lebih besar 35db untuk <i>Life Safety</i> dan 50db untuk <i>Immediate Occupancy</i> dan harus tertutup oleh tulangan pengikat yang terletak pada atau kurang dari 8db.	<i>Non Compliant (NC)</i>
Jarak tulangan pengikat kolom (<i>Column-tie spacing</i>)	Rangka kolom harus mempunyai tulangan pengikat dengan spasi sama dengan atau kurang dari $d/4$ pada sepanjang kolom, dan spasi sama dengan atau kurang dari 8db pada lokasi yang berpotensi terbentuk sendi plastis.	<i>Compliant (C)</i>
Jarak tulangan geser balok	Semua balok harus mempunyai tulangan geser dengan spasi sama atau kurang dari $d/2$ pada sepanjang balok. Pada lokasi yang berpotensi terbentuk sendi plastis, tulangan harus berjarak sama atau kurang dari minimum 8db atau $d/4$.	<i>Non compliant (NC)</i>
Tulangan pada joint	Balok kolom join harus mempunyai tulangan pengikat yang terletak pada atau kurang dari 8db.	<i>Non compliant (NC)</i>
Eksentrisitas pada joint	Tidak boleh terdapat eksentrisitas yang lebih besar dari 20% ukuran penampang kolom terkecil antara gelagar dan pusat kolom.	<i>Compliant (C)</i>
<i>Strrup and tie books</i>	Tulangan geser balok dan tulangan pengikat kolom harus diangkur ke bagian dalam bengkokan 135° atau lebih.	<i>Compliant (C)</i>
<i>Flat slab.</i>	<i>Flat slab/plates</i> yang dikelompokkan sebagai komponen sekunder harus mempunyai tulangan bawah yang menerus sampai ke joint kolom untuk <i>Live safety</i> dan <i>flat slab</i> tidak diijinkan untuk level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> .	<i>Compliant (C)</i>
<i>Deflection compatibility</i>	Komponen sekunder harus mempunyai kapasitas geser untuk mengembangkan kekuatan lentur elemen untuk <i>Life saety</i> dan harus mempunyai pendetaialan daktail untuk <i>Immediate Occupancy</i> .	<i>Compliant (C)</i>
Tulangan pada bukaan diaphragma	Harus ada penulangan yang mengelilingi semua bukaan diaphragma yang lebih besar 50% dari lebar bangunan pada dimensi utama denah bangunan,	<i>Not applicable (NA)</i>
Gaya lateral pada pile cap.	Pile cap harus mempunyai tulangan atas dan pile harus diangkur ke pile cap.	<i>Compliant (C)</i>

ANALISIS LINIER STATIK EKUIVALEN

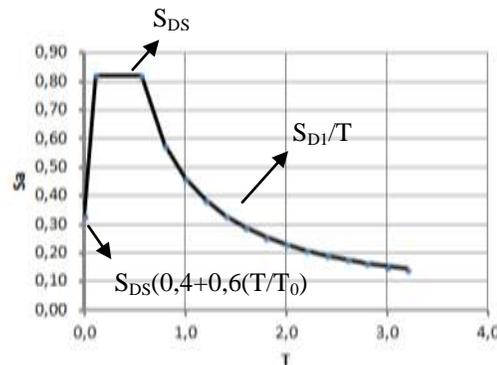
Gaya gempa statik ekuivalen sesuai prosedur SNI 1726-2012 dimana geser tingkat desain gempa harus didistribusikan pada di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral dan diafragma. Dari hasil analisa modal ETABS 9.5 didapatkan nilai waktu getar $T_x = 0,850s$ & $T_y = 1,110s$.

Tabel 2. Distribusi vertikal gaya gempa dengan koordinat titik gempa

Gaya Gempa Statik Ekuivalen							Koordinat	
Story	wi (kN)	hi (m)	wi.hi ^{kx}	wi.hi ^{ky}	Fx (kN)	Fy (kN)	X (m)	Y (m)
LT ATTIC	11533,55	20,40	2049999,19	10238287,80	2247,036	1940,318	24,76	12,85
LT5	16991,57	16,40	2500916,68	12768152,74	2741,294	2367,110	23,77	11,07
LT4	16139,53	12,30	1678959,30	8201964,57	1840,334	1589,130	25,40	9,36
LT3	15819,78	8,20	1018396,51	4707249,78	1116,280	963,909	25,47	9,42
LT2	16230,70	4,10	464820,62	1969883,95	509,497	439,951	23,18	9,29
BASE	6105,76	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00	0,00
Σ	82820,9		7713092,3	37885538,8	8454,4	7300,42	0,00	0,00

ANALISIS LINIER DINAMIK RESPON SPEKTRUM

Analisis dinamik linier dilakukan menggunakan analisis spektrum respons ragam sesuai SNI 1726 - 2012 kurva spektrum respons untuk tanah sedang, Wilayah Yogyakarta sesuai gambar berikut :



Gambar 1. Kurva Spektrum Respon Tanah Sedang, Wilayah Yogyakarta.

Persyaratan analisis respon spektrum harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual, dari Tabel 3 pada mode ke 8 partisipasi masa sudah memenuhi syarat lebih dari 90 persen.

Tabel 3. Modal Participation Mass Ratio

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	SumRX	SumRY
1	1,235	34,656	0,923	34,656	0,923	1,250	45,122	1,250	45,122
2	1,110	0,582	79,559	35,238	80,482	98,289	0,746	99,539	45,868
3	0,850	46,705	0,029	81,943	80,511	0,021	53,692	99,559	99,560
4	0,395	1,363	0,599	83,305	81,110	0,011	0,035	99,570	99,596
5	0,377	4,202	0,448	87,508	81,558	0,005	0,063	99,575	99,658
6	0,357	0,007	10,113	87,514	91,671	0,086	0,000	99,661	99,658
7	0,345	0,478	0,115	87,992	91,786	0,001	0,008	99,661	99,666
8	0,291	4,351	0,000	92,343	91,787	0,000	0,117	99,661	99,783

Prilaku struktur GBST RS Bethesda ketika terjadi gempa pada mode 1 adalah 1,234 detik dengan arah pergerakan rotasi, mode 2 sebesar 1,110 detik dengan pergerakan translasi arah Y, mode 3 sebesar 0,850 dengan pergerakan translasi arah X, hal ini menunjukkan ketidaknyamanan ketika terjadi goyangan/pergerakan akibat gempa. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam respon spektrum (V_t) harus lebih besar 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) yang menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, jika lebih kecil maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 V/V_t$.

Dari hasil analisis respon spektrum dan statik ekuivalen diperoleh nilai geser dasar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{tx} &= 7293,440 \text{ kN} > V_x = 0,85 \times 8454,441 \text{ kN} = 7186,275 \text{ kN} \dots\dots \text{memenuhi syarat} \\ V_{ty} &= 7903,520 \text{ kN} > V_y = 0,85 \times 7300,418 \text{ kN} = 6205,356 \text{ kN} \dots\dots \text{memenuhi syarat} \end{aligned}$$

DEMAND CAPACITY RATIO (DCR)

Menurut FEMA 356 (2000), perhitungan *Demand Capacity Ratio* bertujuan untuk mengetahui besaran dan distribusi *inelastic demand* dari komponen-komponen primer dari sistem pemikul gaya lateral. DCR diperhitungkan pada analisis linier statik ekuivalen dan dinamik linier respon spektrum. DCR harus dihitung untuk setiap aksi (gaya aksial, geser, dan momen) dari setiap komponen primer.

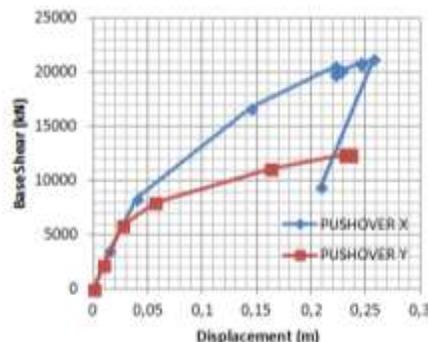
$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \tag{1}$$

Dimana : Q_{UD} adalah gaya akibat beban gravitasi dan gempa dan Q_{CE} adalah perkiraan kekuatan dari komponen sistem pemikul gaya lateral.

Dari hasil analisis gempa statik ekuivalen, pada elemen balok paling besar diperoleh nilai DCR geser 1,281 dan untuk DCR momen 1,604 sedangkan pada elemen kolom nilai DCR geser 1,237 dan untuk momen 0,654. Dari hasil analisis gempa respon spektrum, pada elemen balok paling besar diperoleh nilai DCR geser 1,266 dan untuk DCR momen 1,662 sedangkan pada elemen kolom diperoleh nilai DCR geser 1,242 dan DCR momen 0,782. Mengacu pada penggunaan DCR menurut FEMA 356 (2000) bahwa dari hasil analisis nilai DCR tidak ada yang melebihi 2 maka prosedur linier sudah cukup untuk mengevaluasi GBST RS Bethesda namun untuk mengetahui kinerja struktur diperbolehkan untuk melakukan evaluasi tahap 3.

ANALISA PUSHOVER

Analisa pushover dilakukan dengan memberikan beban dorong lateral dari hasil analisa statik ekuivalen sebagai simulasi beban gempa dan harus diberikan bersama-sama dengan pengaruh kombinasi beban mati dan tidak kurang dari 25% dari beban hidup yang disyaratkan. Beban lateral harus diberikan pada setiap tingkat. Selanjutnya beban tersebut diberikan secara bertahap dalam 1 arah (monotonik) sampai struktur mengalami keruntuhan sehingga diperoleh perpindahan (deformasi) dan gaya dasar gempa. Hasil dari analisa pushover adalah kurva kapasitas, kurva hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan pada titik kontrol. Berikut adalah gambar kurva kapasitas yang dihasilkan melalui program ETABS 9.5.



Gambar 2 Kurva Pushover Arah X Dan Arah Y

Dari kurva *pushover* yang dihasilkan untuk arah X diperoleh bahwa analisis *pushover* berhenti dilangkah (*step*) 3, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol mencapai 0,1446m dan gaya geser dasar sebesar 16668,984 kN. Untuk analisis *pushover* pada arah Y analisis berhenti di langkah (*step*) 4 yaitu pada saat perpindahan titik kontrol mencapai 0,165m dan gaya geser dasar 10784,108 kN.

Ada beberapa cara menentukan perpindahan lateral, yang cukup terkenal adalah metoda koefisien perpindahan FEMA 356 (2000) dan metoda spektrum kapasitas ATC 40 (1996).

METODE SPEKTRUM KAPASITAS ATC 40 (1996)

Metode spektrum kapasitas merupakan representasi kurva kapasitas (*pushover*) dan demand spektrum dalam format *Acceleration Displacement Response Spectra* (ADRS) yaitu hubungan S_a dan S_d .

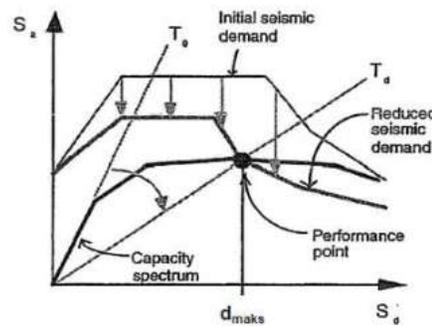
Konversi kurva kapasitas ke spektrum kapasitas format ADRS dilakukan dengan persamaan :

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (2)$$

Dan konversi spektrum respon ke spektrum demand dalam format ADRS dilakukan dengan persamaan :

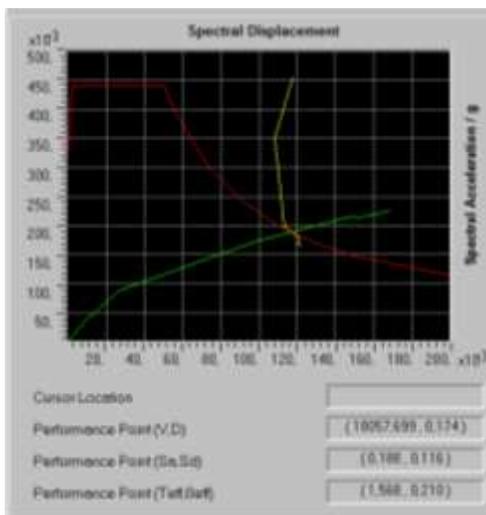
$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad (3)$$

Titik kinerja (*performance point*) merupakan perpotongan antara kurva spektrum kapasitas dan spektrum demand, metode spektrum seperti pada gambar berikut .

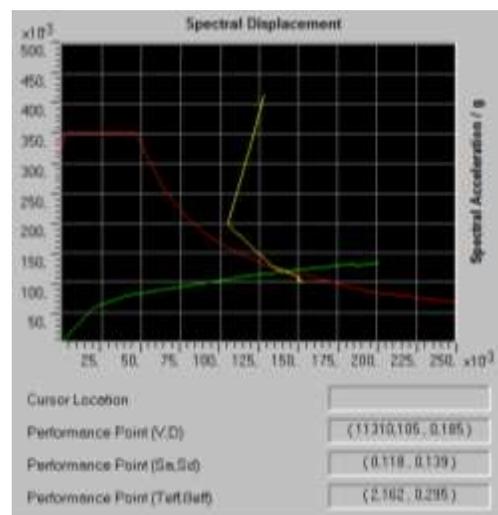


Gambar 3 Titik Kinerja Pada Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40, 1996)

Berikut gambar titik kinerja (*performance point*) yang dihasilkan melalui program ETABS untuk GBST RS Bethesda.



Gambar 4a. Performance Point Arah X



Gambar 4b. Performance Point Arah Y

Perbandingan titik kinerja struktur yang dihasilkan berdasarkan arah pembebanan dapat dirangkumkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Titik Kinerja (*Performance Point*) ATC-40 (1966)

Arah Beban	<i>Performance Point</i> ATC-40 (1996)					
	V (kN)	D (m)	S _a	S _d	T _{eff} (det)	β _{eff}
X	18057,699	0,174	0,188	0,116	1,568	0,210
Y	11310,105	0,185	0,118	0,139	2,162	0,295

METODE TARGET PERPINDAHAN FEMA 356 (2000)

Target perpindahan dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dengan faktor koefisien C₀, C₁, C₂, dan C₃ sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis). Target perpindahan pada titik kontrol δ_t ditentukan dari rumus :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_c}{2\pi} \right)^2 g \quad (4)$$

Dimana :

T_c = waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi inelastis.

C₀ = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam pertama atau berdasarkan.

C₁ = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier :

S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang dituju.

C₂ = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan.

C₃ = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta.

g = percepatan gravitasi 9,81 m/det².

Hasil perhitungan metode target perpindahan FEMA 356 (2000) ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 5 Perhitungan Target Perpindahan FEMA 356 (2000)

Arah Beban	Faktor Modifikasi						Target Perpindahan, δ _t (m)
	T _e (det)	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	S _a	
X	0,850	1,4	1	1	1	0,545	0,137
Y	1,110	1,4	1	1	1	0,417	0,179

PENENTUAN LEVEL KINERJA STRUKTUR

Level kinerja struktur ditentukan melalui kriteria rasio simpangan struktur (*structural-drift ratio*) yang diperoleh pada saat titik kinerja tercapai. Hasilnya dibandingkan dengan persyaratan simpangan (*drift*) yang ditetapkan oleh ATC-40 (1996) pada Tabel 6

Tabel 6. Batasan Deformasi Level Kinerja Struktur (ATC-40,1996)

Batasan Rasio simpangan antar tingkat	Level kinerja struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Rasio Simpangan Total maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V _i /P _i
Rasio Simpangan inelastis maksimum	0,005	0,005-0,015	tidak dibatasi	tidak dibatasi

Rasio simpangan struktur dihitung berdasarkan elevasi dari titik kontrol perpindahan, yaitu titik 61. Hasil perhitungan level kinerja ditunjukkan pada Tabel 7

Tabel 7. Perhitungan Rasio Simpangan Struktur Saat Kinerja Struktur Tercapai

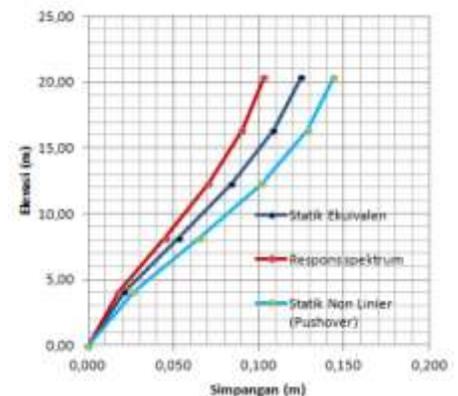
Metode	Arah Beban	Elevasi Titik Kontrol (m)	Simpangan, D (m)	Drift Ratio (%)
ATC-40 (1996)	X	20,4	0,174	0,85%
	Y	20,4	0,185	0,91%
FEMA 365 (2000)	X	20,4	0,137	0,67%
	Y	20,4	0,179	0,88%

Dari nilai *drift ratio* yang diperoleh pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa level kinerja struktur adalah *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini karena drift ratio struktur yang terjadi lebih kecil dari 1%, yaitu batas simpangan yang disyaratkan oleh FEMA 356 dan ATC-40 untuk level kinerja *Immediate Occupancy*.

Perbandingan simpangan struktur yang terjadi antara analisis statik ekuivalen, analisis dinamik respons spektrum dan analisis statik non linier (*pushover*) pada saat *performance point* tercapai yang terjadi pada titik 61 dapat dilihat pada Gambar 5 dengan data pada Tabel 8.

Tabel 8a Perbandingan Simpangan Terhadap Arah X

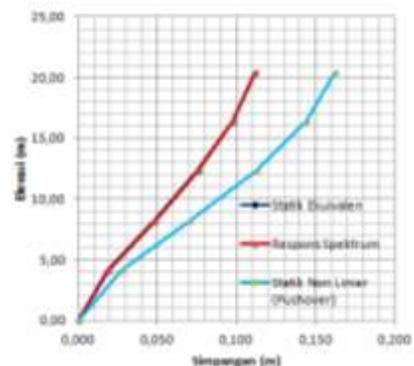
Story	hx (m)	Simpangan Arah X (m)		
		Statik Ekuivalen	Dinamik Respons Spektrum	Statik Non Linier
LT ATTIC	20,40	0,127	0,103	0,144
LT5	16,40	0,111	0,091	0,129
LT4	12,30	0,086	0,072	0,102
LT3	8,20	0,055	0,046	0,066
LT2	4,10	0,022	0,019	0,027
BASE	0,00	0,000	0,000	0,000



Gambar 5a. Kurva Perbandingan Simpangan Terhadap Arah X

Tabel 8b. Perbandingan Simpangan Terhadap Arah Y

Story	hx (m)	Simpangan Arah Y (m)		
		Statik Ekuivalen	Dinamik Respons Spektrum	Statik Non Linier
LT ATTIC	20,40	0,115	0,113	0,162
LT5	16,40	0,100	0,099	0,144
LT4	12,30	0,078	0,077	0,112
LT3	8,20	0,050	0,050	0,070
LT2	4,10	0,020	0,020	0,028
BASE	0,00	0,000	0,000	0,000



Gambar 5b. Kurva Perbandingan Simpangan Terhadap Arah Y

SIMPULAN

- a. Prilaku struktur GBST RS Bethesda ketika terjadi gempa pada mode 1 adalah 1,234 detik dengan arah pergerakan rotasi, mode 2 sebesar 1,110 detik dengan pergerakan translasi arah Y, mode 3 sebesar 0,850 dengan pergerakan translasi arah X, hal ini menunjukkan ketidaknyamanan ketika terjadi goyangan/pergerakan akibat gempa. Dari perhitungan DCR dan simpangan antar lantai melalui analisis linier statik ekuivalen dan linier dinamik respon spektrum masih memenuhi persyaratan, lebih kecil dari batas yang disyaratkan yaitu 2.
- b. Hasil analisis statik non linier *pushover* dengan metode spektrum kapasitas (ATC-40, 1996) dan metode target perpindahan (FEMA 356, 2000), diperoleh bahwa rasio simpangan struktur (*structural drift*) yang terjadi masih lebih kecil dari yang dipersyaratkan oleh ATC-40 untuk level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) yaitu 1%. Oleh karena itu level kinerja struktur untuk periode ulang gempa 2500 tahun adalah *Immediate Occupancy*.

REKOMENDASI

- a. Dalam evaluasi tahap 3 selain dilakukan analisis statik non linier, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam menentukan level kinerja bisa dilakukan dengan analisis dinamik non linier.
- b. Perlu dilakukan penentuan level kinerja terhadap komponen non struktural, karena komponen non struktural juga beresiko terhadap nyawa penghuni gedung apabila terjadi gempa.

REFERENSI

- ATC 40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technologi Council, Redwood City, California.
- FEMA 310, 1998, *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA.
- FEMA 356, 2000, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA 451b, 2007, *NEHRP recommended Provision for New building and other Structure*, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- SNI 1726-2012, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung*. Badan Standarisasi Nasional, 2012.
- Dewobroto, W. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Taban Gempa dengan SAP 2000*. Jurusan Teknik Sipil – Universitas Pelita Harapan. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3.
- Pawirodikromo, Widodo, Oktober 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Boediono, Prof. Dr. Ir. Bambang, Agustus 2008, *Short Course HAKI- Performance Based Design*, Jakarta.