

EVALUASI KEMAMPUAN STRUKTUR RUMAH TINGGAL SEDERHANA AKIBAT GEMPA

Gerry F. Waworuntu

M. D. J. Sumajouw, R. S. Windah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

email: gerrywaw@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia adalah Negara kepulauan yang berada diantara pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Hindia-Australia, dengan adanya pertemuan ketiga lempengan tersebut membuat Indonesia menjadi rawan terhadap resiko terjadinya gempa bumi yang besar. Gempa-gempa yang besar sudah banyak terjadi di Indonesia, sehingga membuat banyak bangunan yang runtuh termasuk rumah tinggal sederhana. Dengan adanya keruntuhan rumah tinggal sederhana akibat gempa di Indonesia, maka perlu adanya evaluasi yang dapat memperkirakan kinerja dari struktur jika terjadi gempa di Provinsi Sulawesi Utara yang juga termasuk dalam wilayah zona gempa tinggi. Salah satu metode analisis yang memperhitungkan kondisi non-linier adalah analisis pushover.

Analisis Statik Non-Linier Pushover merupakan suatu analisis yang menggunakan pola beban lateral statik yang ditambahkan secara bertahap sampai kondisi bangunan mencapai titik keruntuhan. Kurva hasil analisis pushover dapat diketahui tingkat kinerja dari suatu struktur dengan mengacu pada metode ATC-40 dan FEMA 273/356. Pada analisis ini juga dapat diketahui letak sendi plastis yang terjadi sesuai dengan iterasi dari pola beban lateral statik.

Penelitian ini menghasilkan kurva pushover dari variasi nilai kuat tekan beton mulai dari 20 MPa, 25 MPa dan 30 MPa. Dari variasi nilai kuat tekan beton tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kuat tekan beton maka semakin kecil displacement yang terjadi. Namun tingkat kinerja dari ketiga nilai kuat tekan beton tersebut berada pada daerah limited safety yang artinya bangunan sudah mulai mengalami keruntuhan jika terjadi gempa rencana.

Kata kunci : bangunan rumah tinggal sederhana, gempa, analisis pushover, tingkat kinerja.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah Negara kepulauan yang berada diantara pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Hindia-Australia. Pertemuan ketiga lempeng utama ini membuat Indonesia menjadi negara dengan tingkat resiko terjadinya gempa bumi sangatlah besar. Dalam ruang lingkup kerja teknik sipil terutama dibidang struktur bangunan, dengan melihat kondisi negara Indonesia yang memiliki resiko terjadinya gempa sangat besar, maka kondisi tersebut sangat berpengaruh besar dalam perencanaan desain struktur bangunan.

Dalam memperhitungkan faktor gempa terhadap desain struktur bangunan pada umumnya ahli teknik sipil hanya meneliti untuk bangunan bertingkat saja tetapi melupakan sebuah bangunan tempat tinggal masyarakat di Provinsi Sulawesi Utara yang kebanyakan merupakan bangunan rumah tinggal sederhana.

Indonesia yang merupakan daerah rawan terjadinya gempa bumi.



Gambar 1 Kerusakan Bangunan Rumah Sederhana Akibat Gempa

Melihat hal tersebut, penulis bermaksud melakukan pemodelan untuk menganalisis ketahanan gempa dari suatu bangunan rumah tinggal sederhana untuk kemudian dapat dilakukan analisis untuk mengetahui perilaku

bangunan rumah tinggal sederhana akibat beban gempa.

Penulis mengambil studi kasus untuk dianalisis tingkat kinerjanya terhadap beban gempa yaitu bangunan rumah tinggal sederhana yang berlokasi di daerah Kotamobagu Provinsi Sulawesi Utara.

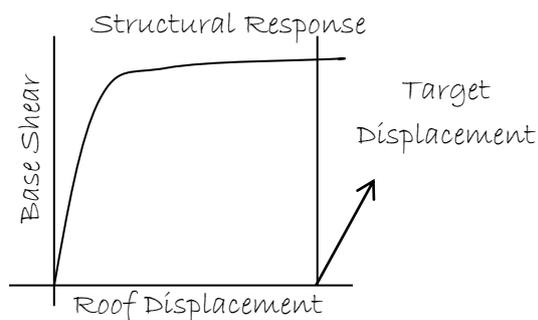
Perencanaan Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*)

Metodologi yang digunakan dalam perencanaan berbasis kinerja adalah suatu cara dimana struktur yang direncanakan dapat diketahui kinerja dari struktur tersebut akibat beban gempa. Hal tersebut dapat menetapkan berbagai tingkat kinerja struktur yang diinginkan dari suatu perencanaan bangunan.

Performance based design mempunyai dua elemen utama dalam perencanaannya yaitu kapasitas struktur (*capacity*) dan beban (*demand*). Beban yang dimaksud di sini yaitu suatu struktur yang dikenakan beban gempa dapat digambarkan sebagai kurva respon spektrum. Kapasitas struktur adalah kemampuan dari struktur untuk menanggulangi gaya gempa. Salah satu analisis yang dapat menggambarkan suatu perencanaan berbasis kinerja adalah analisis statik non-linier *pushover*.

Gambaran Umum Analisis Statik Non-Linier *Pushover*

Menurut (ATC 40, 1997) analisis statik non-linier *pushover* merupakan salah satu komponen *performance based design* yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari suatu struktur. Dalam perencanaan ini beban statik dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan secara bertahap sampai suatu struktur mencapai yang namanya target *displacement* atau mencapai mekanisme diambang keruntuhan.



Gambar 2 *Base Shear Vs. Roof Displacement*

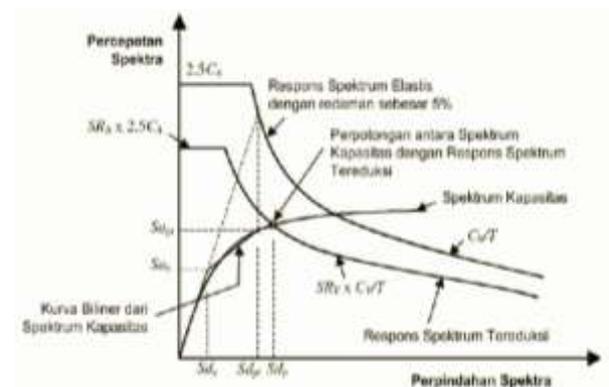
Prosedur analisis ini dimana untuk mengetahui bagian-bagian mana dari suatu struktur yang akan menagalami kegagalan terlebih dahulu.

Seiring dengan penambahan beban akan ada elemen-elemen dari struktur yang akan mengalami leleh serta mengalami deformasi inelastik. Hasil akhir dari analisis ini berupa nilai-nilai gaya geser dasar (*base shear*) untuk menghasilkan perpindahan dari struktur tersebut, seperti terlihat pada Gambar 2.

Metode Spektrum Kapasitas

Metode spektrum kapasitas adalah metode yang ada di dalam ATC 40. Metode ini dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Proses ini sama dengan metode koefisien perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplot-kan dalam format ADRS (*acceleration displacement response spectrum*).

Waktu getar ekuivalen (T_e) dianggap sebagai secant waktu getar tepat dimana gerakan tanah gempa perlu yang direduksi karena adanya efek redaman ekuivalen bertemu pada kurva kapasitas. Karena waktu getar ekuivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan inelastik maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iteratif. ATC-40 menetapkan batas redaman ekuivalen untuk mengantisipasi adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang bersifat gradual. (Wiryanto Dewobroto).



Gambar 3 Penentuan Titik Kinerja Menurut Spektrum Kapasitas

Metode Koefisien Perpindahan FEMA 273/356

Metode koefisien perpindahan adalah prosedur statik non-linier yang dihadirkan dalam dokumen FEMA. Pada metode ini, perhitungan dilakukan dengan memodifikasi respons elastik linier sistem struktur SDOF ekuivalen dengan

faktor modifikasi C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t), dengan menetapkan dahulu waktu getar efektif (T_e) untuk memperhitungkan kondisi inelastik struktur gedung. Persamaan untuk mencari target perpindahan yaitu :

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2.\pi}\right)^2 g \quad (1)$$

dimana :

δ_t = target perpindahan

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = koefisien faktor untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, yang didapat dari Tabel 3-2 FEMA 356

C_1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan respons elastik linier. Nilai C_1 diperoleh dari :

$$C_1 = 1,0 \quad \text{untuk} \quad T_e \geq T \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{[1+(R-1)\frac{T_0}{T_e}]}{R} \quad \text{untuk} \quad T_e \leq T \quad (3)$$

C_2 = faktor modifikasi untuk memperlihatkan efek dari *hysteresis shape* pada respon perpindahan maksimum struktur (Tabel 3-3 FEMA 356)

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh negative :

$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{\frac{3}{2}}}{T_e} \quad (4)$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif, dimana hubungan gaya-lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear.

R = *strength ratio*, besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m \quad (5)$$

S_a = akselerasi respon spektrum yang bekesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinear.

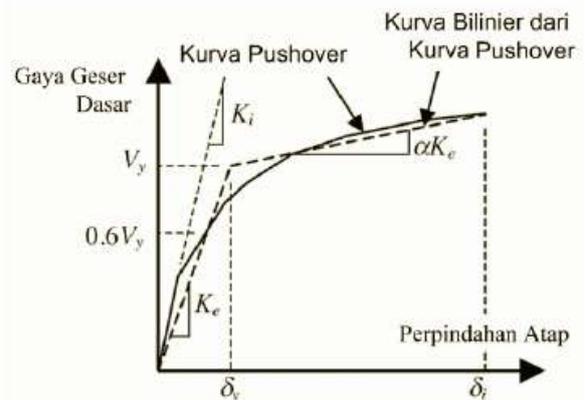
W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m = faktor massa efektif dapat dilihat pada Tabel 3-1 FEMA 356.

T_e = waktu getar alami efektif

$$T_e = T \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (6)$$

T dan K_i adalah periode alami awal elastis (dalam detik) dan kekakuan bangunan pada arah yang ditinjau.



Gambar 4 Parameter Waktu Getar Efektif dari Kurva Pushover (FEMA 356)

Pemeriksaan Tingkat Kinerja Bangunan

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun untuk mengevaluasi bangunan yang sudah ada, dengan memahami kekuatan dari gempa terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Dalam pemeriksaan tingkat kinerja bangunan, penulis mengacu pada metode yang disediakan *Applied Technology Council (ATC-40)* dan *Federal Emergency Management Agency (FEMA 273/356)*

Tabel 1 Batas Deformasi Bangunan Gedung (ATC-40)

Interstory Drift Limit (Batas Simpangan Antar Lantai)	Tingkat Kinerja			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maximum Total Drift (Simpangan Total Maks.)	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 V_i/P_i
Maximum Inelastic Drift (Simpangan Nonelastik Maks.)	0.005	0.005-0.015	No Limit	No Limit

Tabel 2 Tingkat Kinerja Struktural (ATC-40)

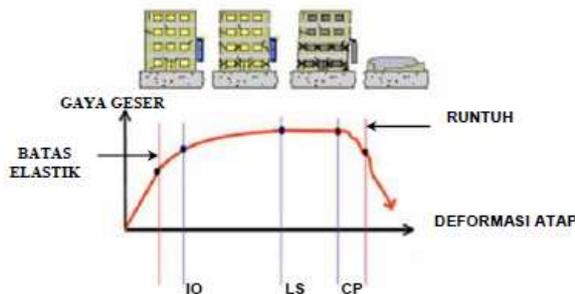
No.	Tingkat Kinerja	Uraian
1	SP-1	<i>Immediate Occupancy</i> (Penggunaan Sedang)
2	SP-2	<i>Damage Control</i> (Kontrol Kerusakan)
3	SP-3	<i>Life Safety</i> (Aman untuk Dihuni)
4	SP-4	<i>Limited Safety</i> (Keamanan Terbatas)
5	SP-5	<i>Structural Stability</i> (Stabilitas Struktural)
6	SP-6	<i>Not Considered</i> (Tidak Diperhitungkan)

Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273/356

Berdasarkan FEMA 273 tingkat kinerja bangunan gedung dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3 Tingkat Kinerja Bangunan Gedung (FEMA 273)

No.	Tingkat Kinerja	Uraian
1	<i>Operational Level</i> (Tingkat Operasional)	Peralatan utilitas masih berfungsi, terdapat sedikit kerusakan
2	<i>Immediate Occupancy Level</i> (Tingkat Penggunaan Sedang)	Bangunan menerima "tanda hijau" (aman untuk digunakan), dari hasil pemeriksaan perlu sedikit perbaikan
3	<i>Life Safety Level</i> (Tingkat Aman untuk Dihuni)	Struktur tetap stabil dan mempunyai kapasitas pelayanan cukup, kerusakan bagian nonstruktural masih terkontrol
4	<i>Collapse Prevention Level</i> (Tingkat Pencegahan Keruntuhan)	Bangunan tetap berdiri, hampir runtuh, kerusakan lain masih diperkenankan



Gambar 5 Spektra Kapasitas (FEMA 273)

Applied Technology Council (ATC) – 40

Berdasarkan ATC-40 batas deformasi bangunan gedung dan kinerja struktur bangunan gedung dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tahapan Utama Analisis Pushover

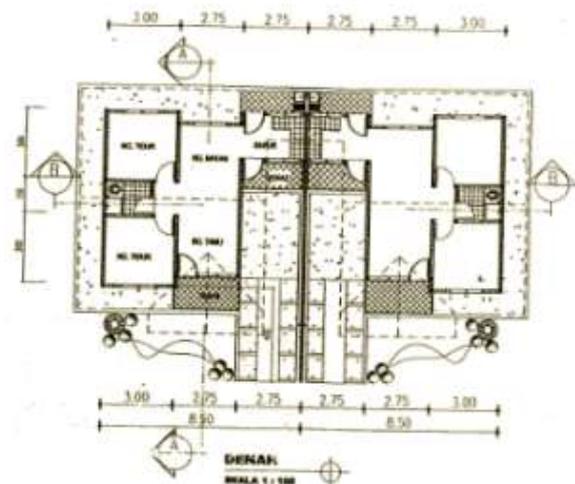
Tahapan utama dalam analisis *pushover* menurut Wiryanto Dewobroto adalah :

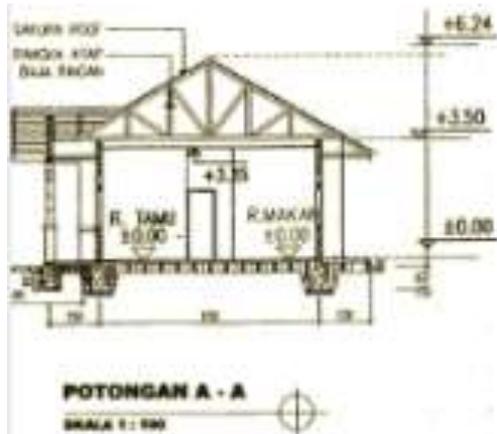
1. Menentukan titik control untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik control dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.

2. Membuat kurva *pushover* dari berbagai pola distribusi gaya lateral yang ekuivalen dengan distribusi gaya inersia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama dengan gempa sebenarnya. Karena gempa sifatnya tidak pasti, perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral.
3. Estimasi besarnya target perpindahan. Titik kontrol didorong sampai target tersebut, yaitu suatu perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja stuktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan (merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja). Komponen struktur dianggap memuaskan jika memenuhi persyaratan deformasi dan kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen yang jumlahnya relatif sangat banyak maka proses harus dikerjakan oleh (fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara built-in pada program SAP2000).

Analisis dan Evaluasi

Data-data untuk dilakukan pemodelan sebagai berikut



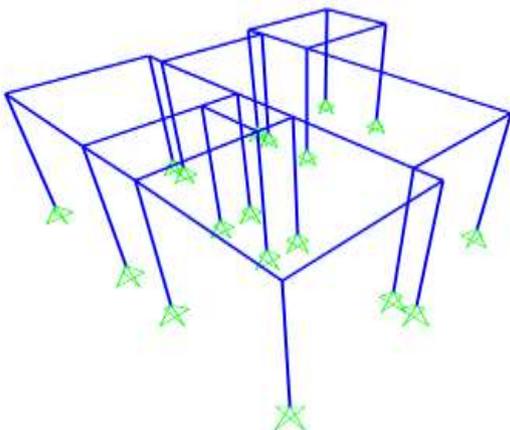


Gambar 6 Denah dan Potongan Bangunan Rumah Tinggal Sederhana

- Tinggi bangunan 350 cm
- Dimensi denah : 850 cm arah-X dan 750 cm arah-Y
- Dimensi penampang balok 11 cm x 15 cm
- Dimensi penampang kolom 11 cm x 11 cm
- Tulangan Balok (4D10 mm), sengkang (D6 – 200)
- Tulangan Kolom (4D10 mm), sengkang (D6 – 200)
- Berat atap rangka baja ringan profil C75 (kuda-kuda + reng + atap sakura roof) = 17 kg/m²
- Bangunan terletak di Kotamobagu, Provinsi Sulawesi Utara

Gambar Pemodelan Struktur Pada Program SAP2000 v.16

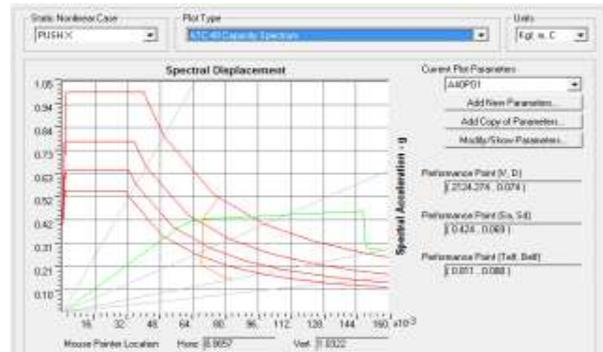
Dalam analisis struktur menggunakan program sap2000 yang pertama dilakukan yaitu membuat pemodelan struktur pada program, pemodelan dibuat sesuai dengan data seperti pada Gambar 6. Hasil pemodelan yang dibuat pada program terlihat pada Gambar berikut.



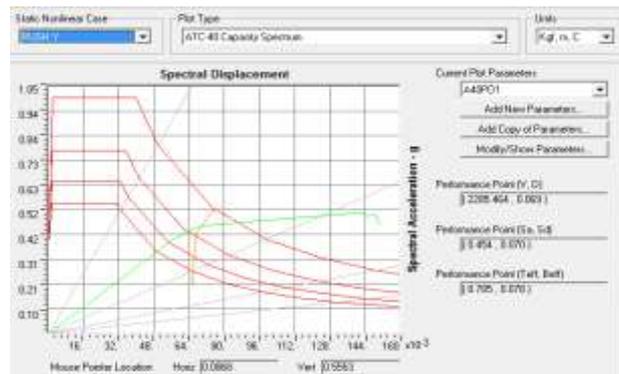
Gambar 7 Pemodelan Struktur 3D Pada Program SAP2000 v.16

Analisis Kurva Pushover Metode Spektrum Kapasitas

- Untuk $f'c = 20 \text{ MPa}$



Gambar 8 Arah X, $\delta_t = 7,4 \text{ cm}$



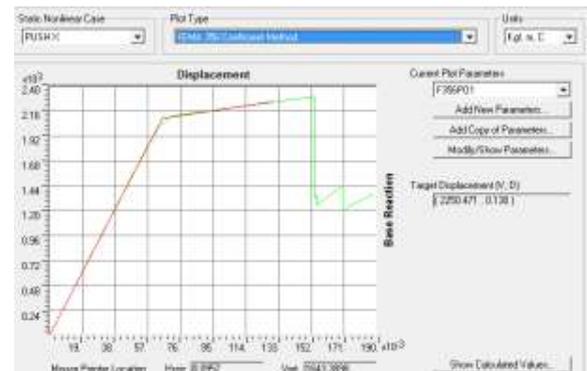
Gambar 9 Arah Y, $\delta_t = 6,9 \text{ cm}$

Dengan cara yang sama dilakukan untuk nilai kuat tekan beton 25 MPa dan 30 MPa, sehingga didapat target perpindahan sebagai berikut :

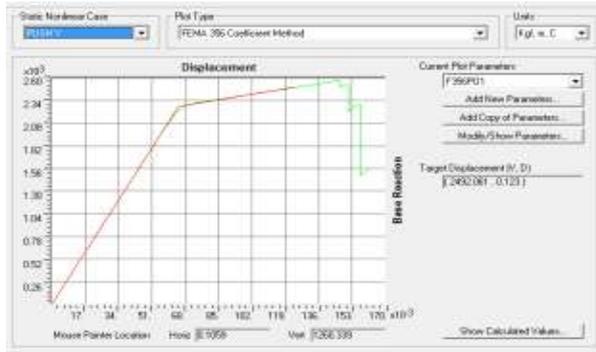
- Arah - X
 $f'c = 25 \text{ MPa}$, didapat $\delta_t = 7,0 \text{ cm}$
 $f'c = 30 \text{ MPa}$, didapat $\delta_t = 6,7 \text{ cm}$
- Arah - Y
 $f'c = 25 \text{ MPa}$, didapat $\delta_t = 6,5 \text{ cm}$
 $f'c = 30 \text{ MPa}$, didapat $\delta_t = 6,2 \text{ cm}$

Metode Koefisien Perpindahan FEMA 273/356

- Untuk $f'c = 20 \text{ MPa}$



Gambar 10 Kurva Pushover Arah -X



Gambar 11 Kurva Pushover Arah -Y

Untuk target perpindahan (δ_t) Metode FEMA 273/356 menggunakan rumus berikut:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g$$

▪ Perhitungan δ_t Arah - X

$T_e = T_i = 0,7713$ detik

$C_0 = 1,0$ (Tabel 3-2 FEMA 356 untuk bangunan berlantai 1)

$C_1 = 1,0$ (Untuk nilai $T_e = 0,7713$ detik $> T_s = 0,568$ detik)

$C_2 = 1,0$ (Tabel 3-3 FEMA 356 dengan kinerja yang dipilih *life safety* pada periode $T_e \geq T_s$)

$C_3 = 1,0$ (Perilaku kekauan pasca-leleh bernilai positif)

$S_a = 0,554$ (diambil untuk $T = 0,7713$ detik)

Maka nilai dari $\delta_t = 8,198$ cm.

Dengan cara yang sama dilakukan untuk nilai kuat tekan beton 25 MPa dan 30 MPa, sehingga didapat target perpindahan sebagai berikut :

$f'c = 25$ MPa, didapat $\delta_t = 7,744$ cm

$f'c = 30$ MPa, didapat $\delta_t = 7,604$ cm

▪ Perhitungan δ_t Arah - Y

$T_e = T_i = 0,7573$ detik

$C_0 = 1,0$ (Tabel 3-2 FEMA 356 untuk bangunan berlantai 1)

$C_1 = 1,0$ (Untuk nilai $T_e = 0,7573$ detik $> T_s = 0,568$ detik)

$C_2 = 1,0$ (Tabel 3-3 FEMA 356 dengan kinerja yang dipilih *life safety* pada periode $T_e \geq T_s$)

$C_3 = 1,0$ (Perilaku kekauan pasca-leleh bernilai positif)

$S_a = 0,564$ (diambil untuk $T = 0,7573$ detik)

Maka nilai dari $\delta_t = 8,046$ cm.

Dengan cara yang sama dilakukan untuk nilai kuat tekan beton 25 MPa dan 30 MPa, sehingga didapat target perpindahan sebagai berikut :

$f'c = 25$ MPa, didapat $\delta_t = 7,604$ cm

$f'c = 30$ MPa, didapat $\delta_t = 7,268$ cm

Tabel 4 Rekapitulasi Target Perpindahan (δ_t) FEMA 273/356

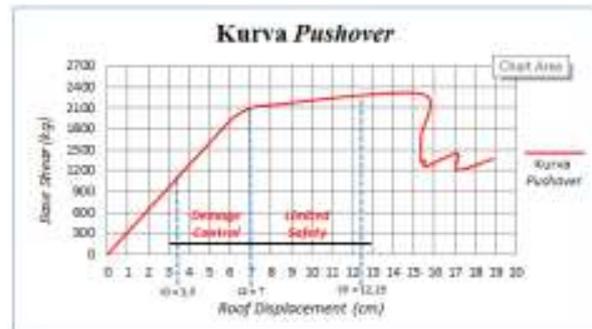
Kuat Tekan Beton (MPa)	Perpindahan (cm)	
	Arah-X	Arah-Y
20	8,198	8,046
25	7,744	7,604
30	7,408	7,268

Maksimum Displacement (δ_{max}) SNI-1726-2012

Pasal 7.12.1 SNI-1726-2012 mengatur tentang simpangan maksimum yang diijinkan tidak boleh melebihi **0,025H**, karena bangunan yang diteliti dalam hal ini perumahan termasuk pada kateori resiko II. Dimana H = tinggi lantai bangunan. Sehingga, $\delta_{max} = 0.025 \times 3,5m = 8,75m$.

Evaluasi Kinerja Struktur

Kurva *pushover* pada bangunan rumah tinggal sederhana yang ditinjau harus dibuat batasan level kinerja berdasarkan *interstory drift* seperti pada Tabel 3.4 yaitu level *Immediate Occupancy* (IO) dengan maksimum *interstory drift* 0,01, level *life safety* (LS) dengan nilai 0,02 dan *collapse prevent* (CP) dengan nilai 0,035. Rumus drift ratio = $\frac{\text{roof drift}}{H}$.



Gambar 12 Kurva Pushover Untuk Evaluasi Kinerja Bangunan

Evaluasi Kinerja Untuk $f'c = 20$ MPa

▪ Arah - X

Tabel 5 Perbandingan Kriteria Bangunan Arah X

Metode	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
ATC-40	7,4	Limited Safety
FEMA 273/356	8,198	Limited Safety

Dari Tabel 5. dapat dilihat bahwa dari kedua metode yang digunakan kriteria bangunan sudah masuk pada daerah *limited safety* (antara *life safety* dan *collapse prevent*), ini menjelaskan

bahwa bangunan sudah mulai masuk pada ambang keruntuhan.

▪ Arah – Y

Tabel 6 Perbandingan Kriteria Bangunan Arah Y

Metode	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
ATC-40	6,9	<i>Damage Control</i>
FEMA 273/356	8,046	<i>Limited Safety</i>

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa dari kedua metode yang digunakan untuk mengetahui kriteria bangunan, metode ATC-40 masuk pada daerah *damage control* (antara *Immediate Occupancy* dan *life safety*) yang berarti bangunan belum mengalami kerusakan yang berat dan belum pada ambang batas keruntuhan. Sedangkan untuk metode FEMA 237/356 kriteria bangunan masuk pada daerah *limited safety* (antara *life safety* dan *collapse prevent*), ini menjelaskan bahwa bangunan sudah mulai masuk pada ambang keruntuhan.

Evaluasi Kinerja Untuk $f'c = 25 MPa$

▪ Arah – X

Tabel 7 Perbandingan Kriteria Bangunan Arah X

Metode	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
ATC-40	7	<i>Limited Safety</i>
FEMA 273/356	7,744	<i>Limited Safety</i>

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa dari kedua metode yang digunakan untuk mengetahui kriteria bangunan, metode ATC-40 masuk pada daerah *damage control* (antara *Immediate Occupancy* dan *life safety*) yang berarti bangunan belum mengalami kerusakan yang berat dan belum pada ambang batas keruntuhan. Sedangkan untuk metode FEMA 237/356 kriteria bangunan masuk pada daerah *limited safety* (antara *life safety* dan *collapse prevent*), ini menjelaskan bahwa bangunan sudah mulai masuk pada ambang keruntuhan.

▪ Arah Y

Tabel 8 Perbandingan Kriteria Bangunan Arah Y

Metode	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
ATC-40	6,5	<i>Damage Control</i>
FEMA 273/356	7,604	<i>Limited Safety</i>

Dari Tabel 8. dapat dilihat bahwa dari kedua metode yang digunakan untuk mengetahui kriteria bangunan, metode ATC-40 masuk pada daerah *damage control* (antara *Immediate Occupancy* dan *life safety*) yang berarti bangunan belum mengalami kerusakan yang berat dan belum pada ambang batas keruntuhan. Sedangkan untuk metode FEMA 237/356 kriteria bangunan masuk pada daerah *limited safety* (antara *life safety* dan *collapse prevent*), ini menjelaskan bahwa bangunan sudah mulai masuk pada ambang keruntuhan.

Evaluasi Kinerja Untuk $f'c = 30 MPa$

▪ Arah – X

Tabel 9 Perbandingan Kriteria Bangunan Arah X

Metode	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
ATC-40	6,7	<i>Limited Safety</i>
FEMA 273/356	7,408	<i>Limited Safety</i>

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa dari kedua metode yang digunakan untuk mengetahui kriteria bangunan, metode ATC-40 masuk pada daerah *damage control* (antara *Immediate Occupancy* dan *life safety*) yang berarti bangunan belum mengalami kerusakan yang berat dan belum pada ambang batas keruntuhan. Sedangkan untuk metode FEMA 237/356 kriteria bangunan masuk pada daerah *limited safety* (antara *life safety* dan *collapse prevent*), ini menjelaskan bahwa bangunan sudah mulai masuk pada ambang keruntuhan.

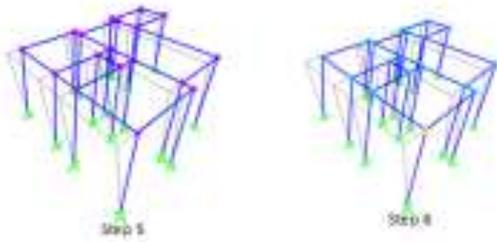
▪ Arah – Y

Tabel 10 Perbandingan Kriteria Bangunan Arah Y

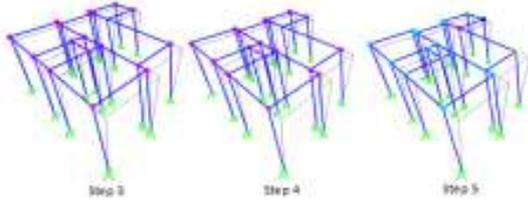
Metode	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
ATC-40	6,2	<i>Damage Control</i>
FEMA 273/356	7,268	<i>Limited Safety</i>

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa dari kedua metode yang digunakan untuk mengetahui kriteria bangunan, metode ATC-40 masuk pada daerah *damage control* (antara *Immediate Occupancy* dan *life safety*) yang berarti bangunan belum mengalami kerusakan yang berat dan belum pada ambang batas keruntuhan. Sedangkan untuk metode FEMA 237/356 kriteria bangunan masuk pada daerah *limited safety* (antara *life safety* dan *collapse prevent*), ini menjelaskan bahwa bangunan sudah mulai masuk pada ambang keruntuhan.

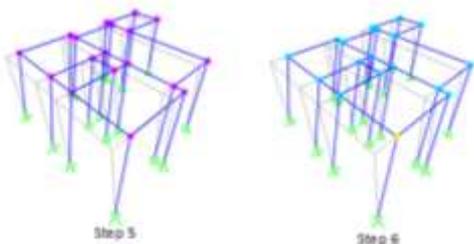
Letak Sendi Plastis



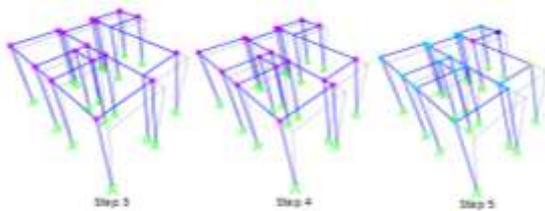
Gambar 13 Kondisi Sendi Plastis Arah-X Untuk $f'c = 20$ MPa



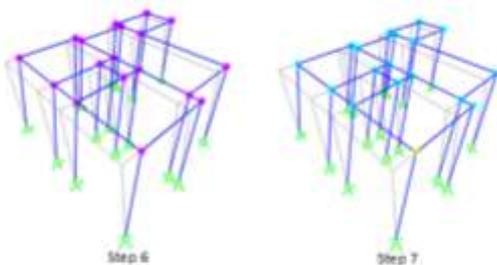
Gambar 14 Kondisi Sendi Plastis Arah-Y Untuk $f'c = 20$ MPa



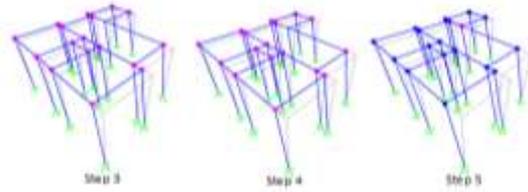
Gambar 15 Kondisi Sendi Plastis Arah-X Untuk $f'c = 25$ MPa



Gambar 16 Kondisi Sendi Plastis Arah-Y Untuk $f'c = 25$ MPa



Gambar 17 Kondisi Sendi Plastis Arah-X Untuk $f'c = 30$ MPa



Gambar 18 Kondisi Sendi Plastis Arah-Y Untuk $f'c = 30$ MPa

PENUTUP

Kesimpulan

1. *Performance point* gedung sebagai berikut:

Tabel 11 *Performance point*

Kuat Tekan Beton (MPa)	Performance Point (cm)			
	ATC-40		FEMA 273/356	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
20	7,4	6,9	8,198	8,046
25	7	6,5	7,744	7,604
30	6,7	6,2	7,408	7,268

2. Dari variasi nilai kuat tekan beton dapat dilihat bahwa semakin besar kuat tekan beton maka semakin kecil nilai *performance point* dari bangunan tersebut.
3. *Performance point* merupakan hal yang penting untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap gempa rencana, agar dapat diketahui sampai sejauh mana kondisi dari struktur bila terjadi gempa tertentu. Dari kedua metode yang digunakan untuk menghitung *performance point/target* perpindahan, nilai *performance point* dari FEMA 273/356 merupakan yang terbesar.
4. Nilai *displacement* maksimum yang disyaratkan dalam SNI-1726-2012 sesuai dengan kategori bangunan yang diteliti yaitu 8,75 cm.
5. Dari hasil evaluasi kriteria kinerja struktur pada setiap variasi kuat tekan beton dalam penelitian ini, pada arah-X dari kedua metode dan arah-Y pada metode FEMA 273/356 masuk pada kategori *limited safety* artinya struktur sudah pada kondisi ambang keruntuhan. Sedangkan pada arah-Y untuk metode ATC-40 struktur masuk dalam kategori *damage control* artinya struktur masih dalam keadaan aman walaupun sudah terjadi beberapa kerusakan.
6. Evaluasi letak sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan terlihat bahwa sendi plastis terbentuk pada pertemuan antara balok dan kolom artinya struktur bangunan

- tidak memenuhi kriteria *strong column weak beam*.
7. Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa kinerja bangunan rumah sederhana yang diteliti masih rawan keruntuhan jika suatu saat terjadi gempa.
 2. Untuk penelitian lanjutan penulis merekomendasikan dalam merencanakan beban gempa coba untuk menggunakan *Time history analysis*.
 3. Analisis *pushover* sebaiknya juga dilakukan untuk bangunan bertingkat banyak yang ada di kota Manado, agar dapat diketahui kinerja strukturnya.

Saran

1. Program SAP2000 sangatlah membantu dalam analisis statik non-linier *pushover*, namun demikian perlu ada pemahaman yang lebih mengenai cara mengoperasikan program, teori-teori dasar analisis serta ketepatan dalam memberikan parameter-parameter sangat penting agar dapat diperoleh keakuratan dalam hasil analisis.
4. Jika suatu saat ada penelitian lagi tentang tingkat kinerja bangunan rumah sederhana menggunakan analisis statik non-linier *pushover*, menurut saya sebaiknya lebih memperhatikan faktor geometri dari rumah juga dimensi kolom dan balok beserta tulangnya.

DAFTAR PUSTAKA

Applied Technology Council. 1996. *ATC 40 - Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, U.S.A.

Badan Standardisasi Nasional (2012). *SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta, Indonesia.

Boen, T. (2005). *Constructing Seismic Resistant Masonry Houses in Indonesia*. *World Seismic Safety Initiative (WSSI)*. United Nations.

Federal Emergency Management Agency (1997). *NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS (FEMA 273)*, Washington, USA.

Federal Emergency Management Agency (2000). *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS (FEMA 356)*, Washington, USA.

Oguz, S. (2005). *Evaluation of Pushover Analysis Procedures for Frame Structures*. *Master, Tesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey*.

LAMPIRAN

Tabel 12 Nilai Kurva *Pushover* Arah-X Untuk $f'c = 20$ MPa

TABLE: Pushover Curve - PUSH X											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	Kgf									
0	0.000135	0	82	0	0	0	0	0	0	0	82
1	0.057584	1845.43	81	1	0	0	0	0	0	0	82
2	0.06291	1992.12	73	9	0	0	0	0	0	0	82
3	0.069332	2092.5	67	15	0	0	0	0	0	0	82
4	0.071681	2112.35	64	18	0	0	0	0	0	0	82
5	0.074671	2125.55	62	20	0	0	0	0	0	0	82
6	0.153469	2304.28	62	0	0	19	0	1	0	0	82
7	0.153479	1706.75	62	0	0	15	0	1	4	0	82
8	0.153489	1324.41	62	0	0	14	0	0	6	0	82
9	0.155352	1349.33	62	0	0	13	0	1	6	0	82
10	0.155362	1255.95	62	0	0	13	0	0	7	0	82
11	0.171078	1447.55	62	0	0	12	0	1	6	1	82
12	0.171088	1209.96	62	0	0	12	0	0	7	1	82
13	0.188432	1367.47	62	0	0	11	0	1	7	1	82
14	0.159308	837.98	62	0	0	9	0	1	8	2	82

Tabel 13 Nilai Kurva *Pushover* Arah-Y Untuk $f'c = 20$ MPa

TABLE: Pushover Curve - PUSH Y											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	Kgf									
0	0.000047	0	82	0	0	0	0	0	0	0	82
1	0.056338	1986.12	80	2	0	0	0	0	0	0	82
2	0.063709	2208.49	66	16	0	0	0	0	0	0	82
3	0.068585	2281.37	60	22	0	0	0	0	0	0	82
4	0.072639	2311.75	58	24	0	0	0	0	0	0	82
5	0.146676	2575.46	56	2	2	21	0	1	0	0	82
6	0.146686	2509.39	56	2	1	22	0	0	1	0	82
7	0.151008	2524.7	56	1	2	21	0	1	1	0	82
8	0.151018	2211.87	56	1	2	20	0	0	3	0	82
9	0.152893	2253.27	56	1	2	20	0	0	3	0	82
10	0.157401	2300.47	56	1	2	18	0	2	3	0	82
11	0.157411	1484.53	56	1	2	13	0	0	10	0	82
12	0.161884	1551.24	56	1	2	12	0	1	10	0	82
13	0.136861	1148.58	56	1	2	12	0	0	11	0	82

Tabel 14 Nilai Kurva *Pushover* Arah-X Untuk $f'c = 25$ MPa

TABLE: Pushover Curve - PUSH X											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	Kgf									
0	0.000121	0	82	0	0	0	0	0	0	0	82
1	0.054852	1965.67	81	1	0	0	0	0	0	0	82
2	0.0595	2109.91	72	10	0	0	0	0	0	0	82
3	0.064931	2203.97	66	16	0	0	0	0	0	0	82
4	0.068422	2228.58	63	19	0	0	0	0	0	0	82
5	0.0700	2235.7	62	20	0	0	0	0	0	0	82
6	0.150291	2427.51	62	0	0	19	0	1	0	0	82
7	0.150301	1794.41	62	0	0	15	0	1	4	0	82
8	0.150311	1392.05	62	0	0	13	0	1	6	0	82
9	0.150321	1293.42	62	0	0	13	0	0	7	0	82
10	0.167311	1526.34	62	0	0	12	0	1	7	0	82
11	0.167321	1334.2	62	0	0	12	0	0	8	0	82
12	0.176098	1432.27	62	0	0	12	0	0	7	1	82
13	0.176108	1360.39	62	0	0	12	0	0	7	1	82
14	0.17781	1390.25	62	0	0	12	0	0	7	1	82
15	0.179987	1410.59	62	0	0	11	0	1	7	1	82
16	0.129337	761.63	62	0	0	10	0	0	9	1	82

Tabel 15 Nilai Kurva *Pushover* Arah-Y Untuk $f'c = 25$ MPa

TABLE: Pushover Curve - PUSH Y											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	m	Kgf									
0	0.000042	0	82	0	0	0	0	0	0	0	82
1	0.05189	2045.3	81	1	0	0	0	0	0	0	82
2	0.059702	2316.62	67	15	0	0	0	0	0	0	82
3	0.063759	2387.01	61	21	0	0	0	0	0	0	82
4	0.067053	2416.32	58	24	0	0	0	0	0	0	82
5	0.142258	2694.02	56	2	2	21	0	1	0	0	82
6	0.142268	2623.4	56	1	2	22	0	0	1	0	82
7	0.147408	2643.01	56	1	2	21	0	1	1	0	82
8	0.147418	2311.15	56	1	2	20	0	0	3	0	82
9	0.149357	2358.26	56	1	2	20	0	0	3	0	82
10	0.153709	2408.25	56	1	2	18	0	2	3	0	82
11	0.153719	1554.2	56	1	2	13	0	0	10	0	82
12	0.157379	1615.25	56	1	2	12	0	1	10	0	82
13	0.134041	1196.17	56	1	2	12	0	0	11	0	82