

ANALISA PORTAL DENGAN DINDING TEMBOK PADA RUMAH TINGGAL SEDERHANA AKIBAT GEMPA

Rowland Badenpowell Edny Turang

Marthin D. J. Sumajouw, Reky S. Windah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: rowlandturang@gmail.com

ABSTRAK

Bangunan rumah yang roboh atau yang mengalami kerusakan akibat gempa sebagian besar adalah bangunan rumah tinggal sederhana yang dibangun menurut pengalaman saja dan tidak mengikuti standar yang ada. Salah satu hal yang sering diabaikan adalah keberadaan dinding. Dinding merupakan salah satu elemen pada bangunan rumah sederhana yang dapat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan struktur bangunan, sehingga dapat mereduksi kerusakan struktur bangunan akibat beban gempa.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar displacement dari model struktur portal tanpa dinding, dengan dinding penuh, dan dengan dinding tidak penuh (ada bukaan) akibat gempa yang dianalisis secara linier. Kemudian dilakukan studi kasus pada bangunan rumah sederhana dengan dan tanpa dinding. Selanjutnya level kinerja bangunan rumah tinggal sederhana tanpa dinding (open frame) dan rumah tinggal sederhana dengan dinding yang dianalisis menggunakan metode analisis pushover yang merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap gempa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dinding memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekakuan lateral bangunan rumah sederhana yang ditinjau. Rumah sederhana dengan dinding lebih kecil displacementnya dibandingkan dengan rumah sederhana tanpa dinding. Level kinerja berdasarkan ATC 40 masuk dalam kategori Immediate Occupancy yang artinya rumah masih dalam kondisi aman dan segera dapat digunakan kembali pasca gempa. Pola keruntuhan bangunan tidak sesuai dengan prinsip kolom kuat balok lemah.

Kata kunci: dinding, rumah tinggal sederhana, analisis pushover, level kinerja, gempa.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bencana alam menjadi isu yang hangat berkembang di masyarakat saat ini, dari sekian banyak bencana yang ada salah satu bencana yang ditakuti yaitu gempa bumi. Gempa bumi adalah suatu guncangan tiba-tiba yang tidak dapat diprediksi yang terjadi dipermukaan tanah yang berasal dari gelombang pada suatu tempat dan menyebar dari daerah tersebut ke segala arah disekitar titik pusat gempa.

Dari pengalaman bencana gempa bumi di Indonesia, bangunan rumah yang roboh atau bangunan yang mengalami kerusakan itu sebagian besar bangunan rumah tinggal sederhana yang dibangun secara spontan dan menurut kebiasaan yang tidak benar untuk daerah gempa. Bangunan tersebut biasanya didirikan oleh masyarakat umum yang kurang akan pengetahuan teknik serta keterampilan dalam membangun rumah. Ditambah lagi

material yang digunakan tidak memiliki kualitas yang baik.

Bangunan rumah tinggal sederhana pasti tidak lepas dengan pemasangan dinding tembok, baik sebagai penutup ruangan ataupun sebagai pembatas antar ruangan. Selain itu ada keuntungan lain dari pemasangan dinding pengisi yaitu pada aspek hubungannya dengan struktur utama. Ketika terjadi gempa, dinding pengisi memberikan pengaruh yang besar terhadap kekakuan dan kekuatan struktur, sehingga perilaku keruntuhannya berbeda dibanding tanpa dinding pengisi.

Untuk mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan oleh bencana gempa, maka perlu adanya penelitian mengenai kerusakan dinding tembok pada rumah tinggal sederhana, sehingga didapati cara untuk mengatasi permasalahan tersebut dan dapat memberikan keamanan serta kenyamanan bagi setiap orang yang ada dan tinggal didalam rumah tinggal tersebut.



Gambar 1. Kerusakan dinding pada rumah sederhana akibat gempa

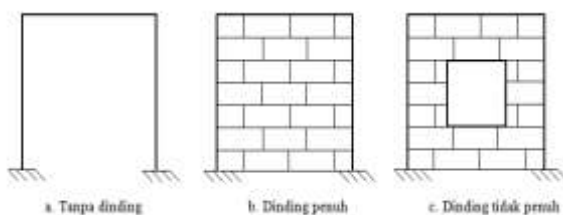
Rumusan Masalah

Bangunan rumah tinggal sederhana yang biasanya dibangun hanya menurut pengalaman dan tidak mengikuti standar yang ada, memiliki tingkat resiko yang tinggi bagi masyarakat umum. Penelitian ini akan membahas lebih detail mengenai elemen dinding pada rumah tinggal sederhana. Seberapa besar kontribusi dinding terhadap kekakuan dan kekuatan bangunan rumah tinggal sederhana.

Batasan Masalah

Untuk mempertajam penelitian, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Pemodelan dan analisis dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 versi 16.
2. Analisis struktur untuk portal digunakan pemodelan 2-D (dua dimensi).
3. Analisis struktur untuk rumah tinggal sederhana digunakan pemodelan 3-D (tiga dimensi).
4. Portal dianalisis secara linier.
5. Peraturan yang digunakan untuk menganalisis beban gempa adalah SNI 1726-2012.
6. Dinding pengisi yang digunakan yaitu dinding batu bata merah.
7. Tumpuan dianggap jepit (analisis tidak meninjau pondasi).
8. Pemodelan dinding dibatasi dalam 3 tipe pemodelan:



Gambar 2. Pemodelan dinding

9. Pemodelan dinding untuk bukaan atau dinding tidak penuh hanya diambil bukaan jendela.
10. Bangunan yang dianalisis berlokasi di Kotamobagu Provinsi Sulawesi Utara.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan *displacement* dari 3 model struktur yaitu: portal tanpa dinding, dinding penuh, dan dinding tidak penuh (ada bukaan) akibat gempa yang dianalisis secara linier. Hasilnya kemudian diaplikasikan pada rumah tinggal sederhana. Selanjutnya dibandingkan level kinerja bangunan rumah tinggal sederhana tanpa dinding (*open frame*) dan rumah tinggal sederhana dengan dinding.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Menambah pengetahuan tentang pentingnya dinding dalam suatu perencanaan bangunan.
2. Dapat memberikan pemahaman tentang bagaimana bangunan yang dibangun menurut syarat dan ketentuan yang telah ditetapkan.
3. Dapat dibandingkan beberapa perbedaan antara struktur portal tanpa dinding pengisi, struktur portal dengan dinding pengisi, dan struktur portal dengan dinding tidak penuh (ada bukaan).
4. Dapat mengetahui seberapa besar perbedaan tingkat kinerja dari pemodelan rumah tinggal sederhana tanpa dinding dan pemodelan rumah tinggal sederhana dengan dinding.

LANDASAN TEORI

Dinding Pengisi

Dinding adalah bagian bangunan yang sangat penting perannya bagi konstruksi bangunan. Dinding membentuk dan melindungi isi bangunan baik dari segi konstruksi maupun penampilan artistik dari bangunan. Dinding adalah bagian dari bangunan yang dipasang secara vertikal dengan fungsi sebagai pemisah antar ruang, baik antar ruang dalam maupun ruang dalam dan luar. Terdapat 3 jenis utama dinding, yaitu: dinding bangunan, dinding pembatas (*boundary*) dan dinding penahan (*retaining*).

Dinding dapat dibuat dari bermacam-macam material sesuai kebutuhannya, antara lain:

- a. Dinding batu batuan: bata dan batako

- b. Dinding batu alam/batu kali
- c. Dinding kayu: kayu batang, papan dan sirap
- d. Dinding beton (struktural - dinding geser, pengisi - beton pra cetak)

Batu Bata

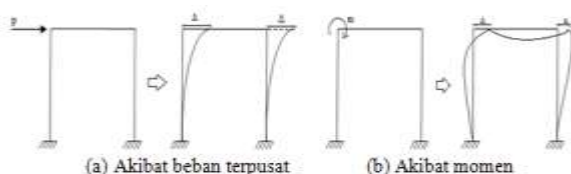
Batu bata banyak digunakan untuk aplikasi teknik sipil seperti dinding pada bangunan perumahan, bangunan gedung, pagar, saluran dan pondasi. Bahan bangunan ini terbuat dari tanah liat dan mineral-mineral lain yang dibentuk dalam ukuran tertentu, biasanya berukuran 23 x 11 x 5 cm. Dicitak dengan ukuran tersebut, kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari. Setelah melewati proses pengeringan, bata merah itu dibakar dalam tungku untuk membuatnya kuat dan tahan lama. Bata merah yang bagus akan keras, tahan api, tahan terhadap pelapukan, dan cukup murah, sehingga berperan penting dalam membuat dinding dan lantai.



Gambar 3. Bata merah

Deformasi pada Portal Sederhana

Pada portal sederhana dengan tahanan jepit di bagian bawah kolom, deformasi yang dihasilkan akibat pembebanan lateral akan jelas menyerupai pola deformasi yang bekerja pada kolom tunggal dengan tahanan jepit-bebas. Demikian halnya bila portal tersebut diberikan momen disalah satu ujung bagian atas portal, maka portal akan menampilkan pola deformasi yang hampir sama dengan yang terlihat pada kondisi struktur kolom tunggal.



Gambar 4. Deformasi pada portal sederhana

Perpindahan pada struktur bergantung pada besar dan arah gaya, kekakuan balok dan kolom, serta jumlah dan konfigurasi elemen-elemen struktur, khususnya elemen-elemen yang lebih

berperan menahan deformasi struktur itu sendiri. Pada portal yang lebih kompleks, dengan jumlah dan jenis elemen struktur yang beragam dengan material yang berbeda, bentuk deformasi struktur juga dapat beragam.

Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Bangunan tahan gempa berbasis kinerja (*performance based design*) merupakan prinsip utama dalam perencanaan bangunan saat ini. Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja ini merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap risiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan memuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan risiko biaya yang akan dikeluarkan.

Tabel 1. Tingkat kinerja struktural (ATC40)

No.	Tingkat Kinerja	Uraian
1.	SP-1	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>
2.	SP-2	<i>Damage Control (DC)</i>
3.	SP-3	<i>Life Safety (LS)</i>
4.	SP-4	<i>Limited Safety</i>
5.	SP-5	<i>Structural Stability (SS)</i>
6.	SP-6	<i>Not Considered</i>

Sumber :Applied Technology Council (ATC-40),1996

Tingkat kinerja bangunan berdasarkan ATC 40 adalah sebagai berikut:

1. SP-1, *Immediate Occupancy (IO)*
Struktur bangunan aman. Resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti. Gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan dapat segera difungsikan.
2. SP-2, *Damage Control (DC)*
Termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan pada pasca gempa, kerusakan yang terjadi bervariasi diantara

kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*. Resiko korban jiwa sangat rendah.

3. SP-3, *Life Safety* (LS)

Struktur bangunan terlalu daktil. Termasuk dalam kategori ini adalah bangunan yang dalam pasca gempa tidak sangat mendesak sebagai fasilitas penyelamatan. Contoh adalah gedung perkantoran, perumahan, dan sebagainya. Resiko Korban jiwa sangat rendah.

4. SP-4, *Limited Safety*

Bukan merupakan level spesifik, tetapi merupakan jarak/tingkat antara SP-3 dengan SP-5.

5. SP-5, *Structural Stability* (SS)

Termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang dalam pasca gempa, gedung diambang batas runtuh total.

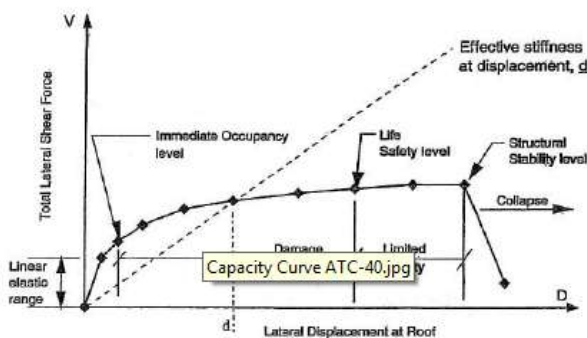
6. SP-6, *Not Considered*

Bukan merupakan tingkat kinerja, tetapi khusus untuk situasi-situasi dimana hanya untuk evaluasi *seismic nonstructural* atau *retrofit*.

lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap.

Tahapan utama dalam analisa *pushover* adalah :

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol 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 struktur 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 komputer (fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara *built-in* pada program SAP2000, mengacu pada FEMA-356).



Gambar 5. Spektra kapasitas (ATC 40)

Sumber : *Applied Technology Council (ATC-40), 1996*

Analisa Statik Non-linier Pushover

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisa ini memerlukan program komputer untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Beberapa program komputer komersil yang tersedia adalah SAP2000, ETABS, GTStrudl, Adina.

Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan

Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen/ elemen dihitung terhadap perpindahan tertentu dititik kontrol yang disebut sebagai target perpindahan dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *Displacement Coeficient Method* atau Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 273/274, FEMA 356 / 440 dan ATC 40) dan *Capacity Spectrum Method* atau Metode Spektrum Kapasitas (FEMA 274 / 440, ATC 40).

Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40)

Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method* (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Konsep dasar dari analisa statik *pushover*

nonlinier adalah memberikan pola pembebanan statis tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap. Penambahan beban statis ini dihentikan sampai struktur tersebut mencapai simpangan target atau beban tertentu. Dalam analisis statik *pushover* nonlinear ini didapatkan kurva kapasitas kemudian diolah lebih lanjut dengan metode tertentu salah satunya *Capacity Spectrum Method* (CSM) [ATC-40]. Metode ini telah *build-in* dalam program SAP 2000 yang akan digunakan.

Hasil analisis statik *pushover* nonlinear adalah kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*). Hubungan tersebut dinamakan kurva kapasitas struktur.

Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan *respons inelastic* bangunan. Analisis ini memang bukan cara terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah analisis dan desain, tetapi relatif sederhana untuk mendapatkan respons nonlinier struktur.



Gambar 6. Ilustrasi kurva *pushover* (ATC40)
Sumber : *Applied Technology Council (ATC-40), 1996*

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini analisis dibantu dengan bantuan program SAP 2000 versi 16. Analisis yang digunakan mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung menurut SNI 1726-2012 dan Metode Spektrum Kapasitas ATC-40. Ada 2 metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini yakni analisis linier dan analisis non linier.

Metode analisis linier bertujuan untuk mengetahui perbandingan *displacement* dari beberapa pemodelan portal yang akan diteliti lebih jelasnya. Analisis linier dari struktur portal

digunakan pemodelan dua dimensi (2-D). Pemodelan portal yang dipakai dalam analisis linier kemudian akan dikombinasikan pada rumah tinggal sederhana yang akan dianalisis dengan metode analisis non linier.

Untuk metode analisis non linier bertujuan untuk mengetahui perbandingan level kinerja struktur dari bangunan rumah yang ditinjau. Metode analisis ini dikenal dengan metode analisis non linier statik *pushover*. Analisis non linier dari struktur yang ditinjau digunakan pemodelan tiga dimensi (3-D).

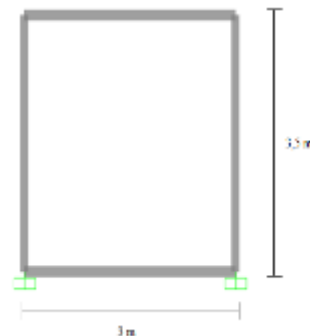
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur Portal

Struktur portal yang dipakai dalam penelitian ini dibatasi dengan 3 model yakni portal tanpa dinding, portal dengan dinding penuh, dan portal dengan dinding tidak penuh (ada bukaan).

Analisis Linier dari Struktur Portal

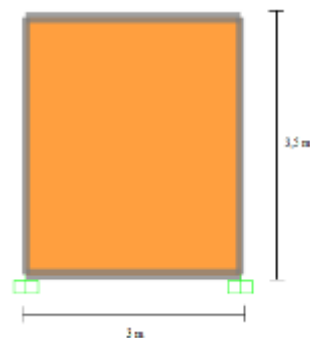
a. Portal tanpa dinding



Gambar 7. Portal tanpa dinding

Hasil *displacement* untuk portal tanpa dinding yaitu 0,00165 m.

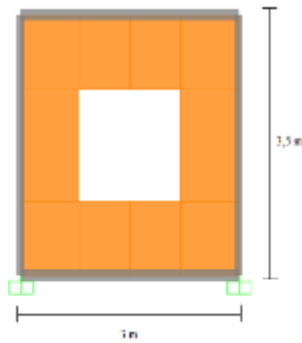
b. Portal dinding penuh



Gambar 8. Portal dinding penuh

Hasil *displacement* untuk portal tanpa dinding yaitu 0,000005 m.

c. Portal dengan bukaan



Gambar 9. Portal dengan bukaan

Hasil *displacement* untuk portal tanpa dinding yaitu 0,000007 m.

Displacement maksimum dari masing-masing portal dapat dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 2 *Displacement* maksimum dari jenis portal

Jenis Portal	<i>Displacement</i> maksimum (m)	Perbandingan <i>Displacement</i> (%)
Portal tanpa dinding	0,00165	100
Portal dinding penuh	0,000005	0,3
Portal dengan bukaan	0,000007	0,4

Dari hasil prosentase perbandingan *displacement* diatas dapat dilihat bahwa dinding memberikan pengaruh yang signifikan terhadap portal dan memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap kekuatan struktur dibandingkan dengan tanpa dinding.

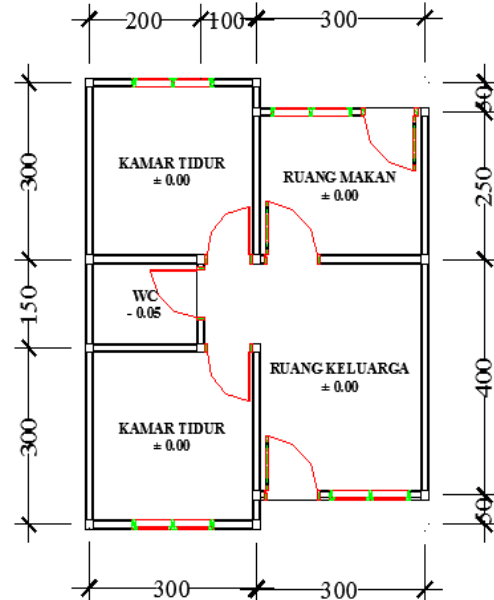
Hasil Analisis Pushover

a. Data bangunan rumah tinggal sederhana

Data-data pelengkap untuk dilakukan pemodelan adalah sebagai berikut :

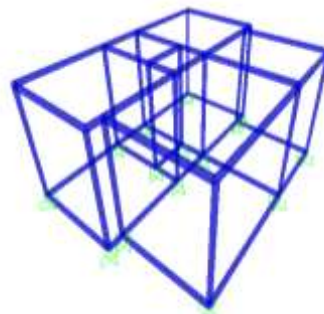
- Tinggi bangunan 350 cm
- Dimensi denah : 600 cm arah-X dan 750 cm arah-Y
- Dimensi penampang balok 11 cm x 15 cm
- Dimensi penampang kolom 11 cm x 11 cm
- Tulangan Balok (4D10 mm), sengkang (D6 – 200)
- Tulangan Kolom (4D10 mm), sengkang (D6 – 200)

- Berat atap rangka baja ringan profil C75 (kuda-kuda + reng + atap sakura *roof*) = 17 kg/m²
- Bangunan terletak di Kotamobagu, Provinsi Sulawesi Utara



Gambar 10. Denah bangunan rumah tinggal sederhana

b. Gambar pemodelan struktur pada program SAP 2000



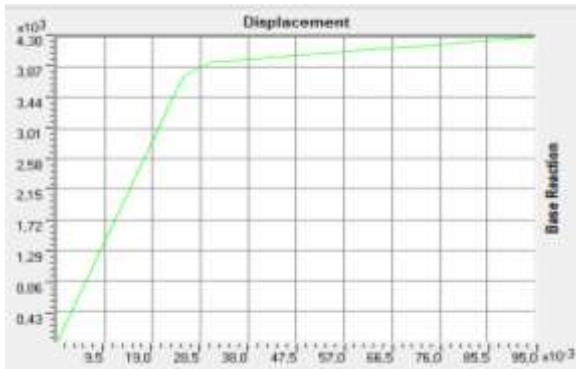
Gambar 11. Model struktur 3D rumah tanpa dinding



Gambar 12. Model struktur 3D rumah dengan dinding

c. Kurva kapasitas

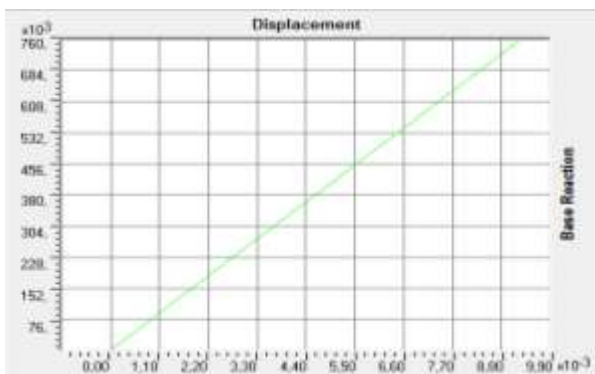
Dari kedua pemodelan struktur 3D diatas kemudian akan dianalisis oleh program yang akan menghasilkan kurva hubungan antara gaya geser dasar dan *displacement* pada titik kontrol untuk setiap tipe struktur. Berikut ini ditampilkan kurva kapasitas dari masing-masing tipe struktur yakni model rumah tanpa dinding dan model rumah dengan dinding.



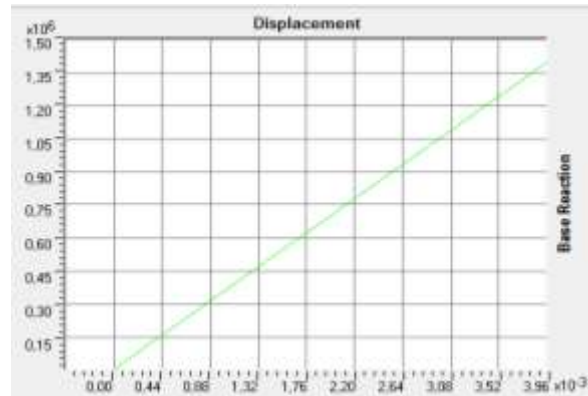
Gambar 13. Kurva kapasitas akibat push X pada model rumah tanpa dinding



Gambar 14. Kurva kapasitas akibat push Y pada model rumah tanpa dinding



Gambar 15. Kurva kapasitas akibat push X pada model rumah dengan dinding



Gambar 16. Kurva kapasitas akibat push Y pada model rumah dengan dinding

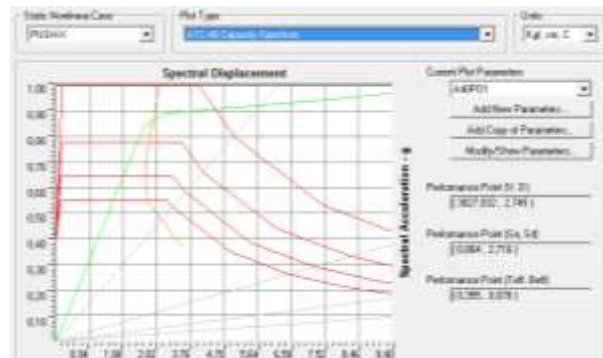
Dari grafik diatas didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Perpindahan dan gaya geser maksimum bangunan

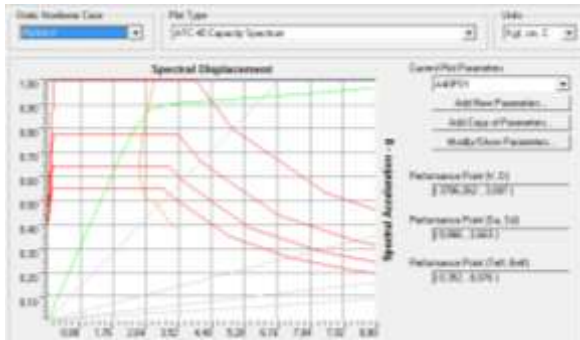
Model	Arah X		Arah Y	
	Perpindahan Maksimum (cm)	Gaya Geser Dasar Maksimum (Kg)	Perpindahan Maksimum (cm)	Gaya Geser Dasar Maksimum (Kg)
Tanpa Dinding	0,00094	4290,48	0,00095	3984,58
Dengan Dinding	0,00009	758067,74	0,00003	1401191,62

Target Perpindahan

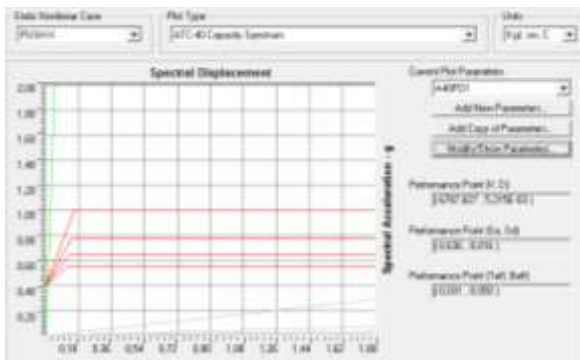
Target perpindahan hanya mengambil metode spektrum kapasitas ATC 40. Dari program SAP 2000 akan didapat kurva kapasitas. *Performance Point* didapat dari titik perpotongan antara *demand spectra* (garis orange) dengan *capacity curve* (garis hijau). Kurva spektrum kapasitas ditampilkan sebagai berikut:



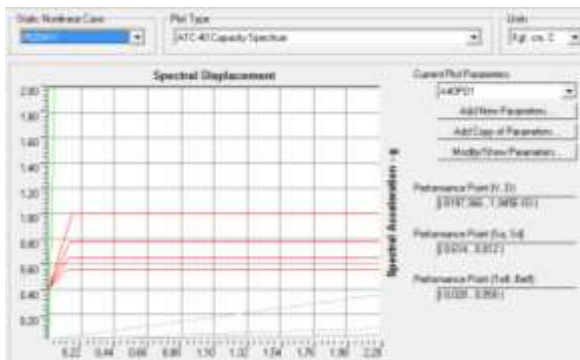
Gambar 17. Spektrum kapasitas akibat push X pada model rumah tanpa dinding



Gambar 18. Spektrum kapasitas akibat push Y pada model rumah tanpa dinding



Gambar 19. Spektrum kapasitas akibat push X pada model rumah dengan dinding



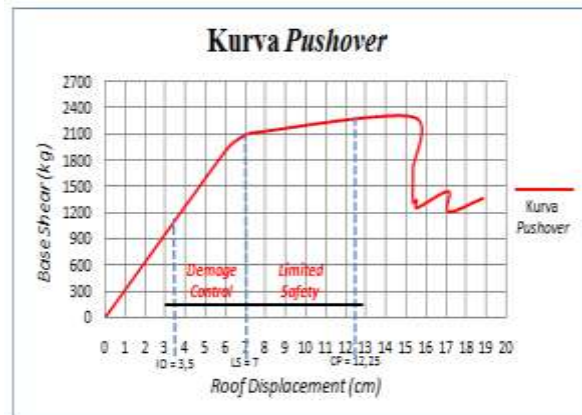
Gambar 20. Spektrum kapasitas akibat push Y pada model rumah dengan dinding

Target perpindahan dengan metode spektrum kapasitas untuk setiap model ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Tabel 4. Target perpindahan dengan metode spektrum kapasitas

Performance Point	Model Rumah			
	Tanpa Dinding		Dengan Dinding	
	X	Y	X	Y
V (Kg)	3827,832	3786,262	6787,827	8197,366
D_r δ (cm)	2,745	3,097	0,005	0,001
S_a (g)	0,864	0,866	0,636	0,614
S_d (cm)	2,716	2,663	0,016	0,012
T_{eff} (detik)	0,355	0,352	0,031	0,028
B_{eff} (%)	0,078	0,076	0,050	0,050

Evaluasi Tingkat Kinerja



Gambar 21 Kurva untuk evaluasi kinerja bangunan

a. Evaluasi kinerja untuk model rumah tanpa dinding

Tabel 5. Perbandingan kriteria bangunan untuk model rumah tanpa dinding

Arah	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
X	2,745	Immediate Occupancy
Y	3,097	Immediate Occupancy

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa untuk model rumah tanpa dinding baik arah X maupun arah Y dengan metode ATC-40 masuk pada daerah *Immediate Occupancy* yang berarti bangunan masih dalam kondisi aman untuk dihuni dan segera dapat digunakan kembali pasca gempa.

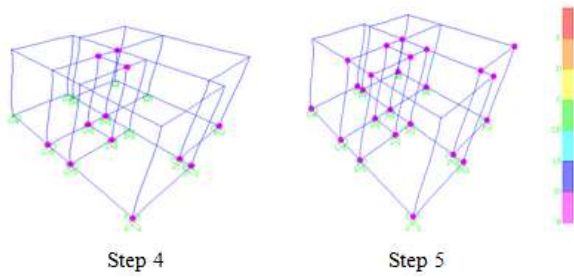
b. Evaluasi kinerja untuk model rumah dengan dinding

Tabel 6. Perbandingan kriteria bangunan untuk model rumah dengan dinding

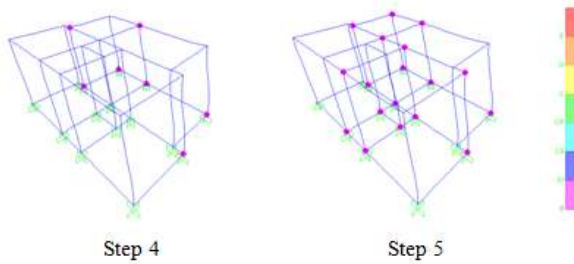
Arah	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
X	0,005	Immediate Occupancy
Y	0,001	Immediate Occupancy

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa untuk model rumah tanpa dinding baik arah X maupun arah Y dengan metode ATC-40 masuk pada daerah *Immediate Occupancy* yang berarti bangunan masih dalam kondisi aman untuk dihuni dan segera dapat digunakan kembali pasca gempa.

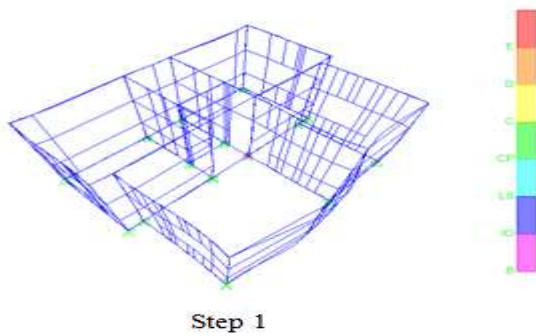
Letak Sendi Plastis



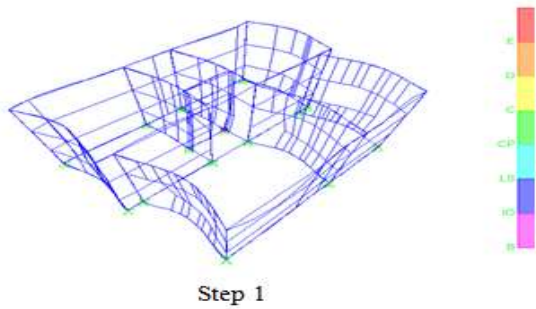
Gambar 22. Kondisi sendi plastis arah X untuk model rumah tanpa dinding



Gambar 23. Kondisi sendi plastis arah Y untuk model rumah tanpa dinding



Gambar 24. Kondisi sendi plastis arah X untuk model rumah dengan dinding



Gambar 25. Kondisi sendi plastis arah Y untuk model rumah dengan dinding

Tabel 7. Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuknya sendi plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO	●	Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS	●	Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatannya dan kekakuannya berkurang banyak
C	●	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D	●	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i>
E	●	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Displacement* dari model portal yang terbesar terjadi pada model portal tanpa dinding dan *displacement* yang terkecil terjadi pada model portal dengan dinding penuh.
2. Rumah tinggal sederhana dengan dinding memberikan kontribusi kekakuan yang lebih besar dari pada rumah tinggal sederhana tanpa dinding yang dapat dilihat dari perpindahan maksimum yang terjadi.
3. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode spektrum kapasitas ATC-40 menunjukkan bahwa model rumah tanpa dinding dan model rumah dengan dinding baik arah X maupun arah Y tersebut berada pada level *Immediate Occupancy* dimana kondisi rumah hampir sama dengan kondisi sebelum gempa dan segera dapat digunakan kembali.
4. Evaluasi letak sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan terlihat bahwa sendi plastis terbentuk pada pertemuan antara balok dan kolom yang artinya struktur bangunan tidak memenuhi kriteria kolom kuat balok lemah.
5. Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh bahwa model rumah baik tanpa dinding maupun dengan dinding yang diteliti masih sangat aman untuk dihuni jika suatu saat terjadi gempa.

Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dibuat model portal dengan bukaan pintu
2. Perlu dilakukan penelitian dengan membandingkan hasil analisis *pushover* dengan metode analisis riwayat waktu, untuk
3. mengetahui keakuratan hasil analisis terhadap perilaku struktur akibat gempa.
4. Perlu dicoba menerapkan analisis *pushover* untuk bangunan-bangunan bertingkat di wilayah Sulawesi Utara.
5. Perlu dilakukan analisis *pushover* pada rumah tinggal sederhana sampai mendapatkan pola keretakan dari bangunan yang ditinjau.

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.
- Moohtar, R., 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI 1982)*. Departemen Pekerjaan Umum. Bandung.
- Pranata, Y. A., 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan gempa dengan Pushover Analysis (sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 1, Januari 2006.
- Sehonanda, Olivia., 2013. *Kajian Uji Laboratorium Nilai Modulus Elastisitas Bata Merah Dalam Sumbangan Kekakuan Pada Struktur Sederhana*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Yanto, Dwi., 2010. *Evaluasi Perilaku Seismik Gedung Balai Kota Surakarta Pasca Gempa Dengan Nonlinier Static Pushover Analysis Metode Spectrum Kapasitas*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Surakarta.