

## EVALUASI BALOK DAN KOLOM PADA RUMAH SEDERHANA

Christy Merrill Rantung

Marthin D. J. Sumajouw, Reky S. Windah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: [christyrationg@ymail.com](mailto:christyrationg@ymail.com)

### ABSTRAK

*Pembangunan rumah tinggal sederhana yang cepat dan praktis tanpa memperhatikan kualitas struktur atau dalam perencanaannya tidak berdasarkan standar/peraturan yang berlaku sangat beresiko bagi penghuninya. Penting untuk memperhatikan kualitas struktur sebagai penopang beban bangunan dan gaya dari luar, seperti gempa. Apalagi Indonesia merupakan Negara yang rawan terhadap resiko gempa baik dalam intensitas sedang maupun berat. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi terhadap kinerja dari rumah tinggal sederhana apabila terjadi gempa serta mengevaluasi komponen-komponen strukturnya dalam hal ini balok dan kolom.*

*Evaluasi kinerja bangunan diperoleh melalui metode analisis statik pushover dengan Program SAP 2000. Analisis ini berupa peningkatan beban secara berangsur-angsur sampai bangunan mencapai titik keruntuhan. Analisis pushover menghasilkan kurva pushover yang menunjukkan target perpindahan yang akan menentukan kinerja bangunan. Selanjutnya dicek ulang untuk komponen struktur apakah cukup aman menahan beban yang bekerja. Pengecekan dalam bentuk redesain dimensi tulangan sampai didapat dimensi tulangan baru kemudian dibandingkan dengan tulangan terpasang di lapangan.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa rumah tinggal yang diteliti berada pada kondisi damage control yang artinya masih dalam kondisi aman untuk dihuni. Sedangkan untuk pengecekan balok dan kolom diperoleh dimensi tulangan yang lebih kecil daripada tulangan terpasang. Artinya tulangan terpasang di lapangan aman untuk digunakan namun masih bisa diperkecil agar lebih ekonomis tanpa mengurangi nilai keamanannya.*

*Kata kunci : rumah tinggal sederhana, analisis pushover, balok, kolom*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang semakin cepat menuntut pembangunan rumah tinggal yang cepat dan praktis. Pada daerah permukiman padat penduduk banyak ditemui bangunan rumah tinggal yang dibangun tanpa memperhatikan kualitas struktur atau dengan kata lain dalam perencanaannya tidak ada analisa dan desain struktur, yang menjadikan bangunan rumah tinggal tersebut rentan terhadap bahaya bencana alam. Munculnya kondisi bangunan seperti ini biasanya disebabkan oleh lemahnya kondisi ekonomi masyarakat dan ketidaktahuan mereka akan pentingnya kualitas struktur sebagai penopang beban bangunan dan gaya dari pengaruh luar bangunan seperti, gempa.

Ancaman gempa bumi bisa datang kapan saja di Indonesia. Apalagi Indonesia merupakan negara yang sebagian besar wilayahnya terletak pada zona gempa dengan intensitas gempa sedang maupun berat karena Indonesia dilewati

oleh pertemuan sistem-sistem lempeng kerak bumi aktif. Apabila terjadi gempa kuat dapat menimbulkan korban material dan korban jiwa yang cukup besar. Adanya korban jiwa biasanya bukan disebabkan oleh peristiwa gelombang seismik namun lebih disebabkan karena tertimpa reruntuhan bangunan.

Untuk mengurangi kerusakan bangunan maupun korban jiwa akibat gempa bumi maka dalam perencanaan bangunan rumah tinggal perlu diperhatikan kualitas dari komponen-komponen struktur bangunan yang nantinya akan bekerja untuk menahan beban yang ada.

Dengan dilatar belakangi oleh hal di atas maka perlu dilakukan evaluasi terhadap balok dan kolom sebagai komponen struktur bangunan untuk rumah tinggal sederhana dari beton bertulang yang mampu menahan beban gempa.

#### Rumusan Masalah

Mengacu pada uraian sebelumnya, maka dapat diambil rumusan masalah, yaitu apakah balok dan kolom yang digunakan pada rumah

tinggal sederhana tanpa perhitungan struktur sudah aman dan mampu menahan beban yang bekerja.

### Pembatasan Masalah

1. Bangunan yang ditinjau adalah rumah tinggal sederhana satu lantai dari beton bertulang.
2. Hanya meninjau balok dan kolom bangunan.
3. Variasi penampang beserta tulangan terpasang diambil dari data lapangan.
4. Menggunakan analisa 3D.
5. Analisis dengan nonlinear statik *pushover*.
6. Analisis *Pushover* menggunakan Program SAP 2000 Metode Koefisien FEMA 356.

### Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi balok dan kolom pada rumah tinggal sederhana yang dibangun oleh masyarakat tanpa mengikuti kaidah– kaidah keteknikan apakah sudah mampu menahan beban yang bekerja.

Manfaat penelitian ini adalah mendapatkan informasi mengenai kondisi balok dan kolom pada rumah tinggal sederhana yang dibangun oleh masyarakat tanpa mengikuti kaidah–kaidah keteknikan apakah aman dan mampu untuk menahan beban yang bekerja.

## LANDASAN TEORI

### Rumah Sederhana

Menurut Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya–Departemen Pekerjaan Umum, rumah tinggal sederhana adalah bangunan rumah layak huni yang bagian huniannya berada langsung di atas permukaan tanah, berupa rumah tinggal, rumah kopel dan rumah deret. Harganya terjangkau oleh masyarakat berpenghasilan rendah dan sedang. Luas lantai bangunan tidak lebih dari 90 m<sup>2</sup>, yang dibangun di atas tanah dengan luas kaveling 54 m<sup>2</sup> sampai dengan 200 m<sup>2</sup>.

### Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan baja tulangan dengan luas dan jumlah yang tidak kurang dari nilai minimum yang diisyaratkan oleh peraturan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama–sama.

Agar dapat terjamin bahwa suatu struktur yang direncanakan mampu menahan beban yang

bekerja, maka pada perencanaan struktur digunakan faktor keamanan tertentu. Faktor keamanan ini terdiri atas dua jenis, yaitu:

1. Faktor keamanan yang berkaitan dengan beban luar yang bekerja pada struktur, disebut faktor beban.
2. Faktor keamanan yang berkaitan dengan kekuatan struktur (gaya dalam), disebut faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ )

Karena pada dasarnya kuat rencana ( $R_r$ ) merupakan kekuatan gaya dalam sedangkan kuat perlu ( $R_u$ ) merupakan gaya luar yang bekerja pada struktur, maka agar struktur dapat dijamin keamanannya harus dipenuhi syarat berikut:

$$Kuat Rencana (R_r) \geq Kuat Perlu (R_u)$$

### Desain dan Analisis Balok Persegi

Pada perencanaan penampang beton bertulangan sangat dihindari terhadap keruntuhan tekan (*over-reinforced*), karena sistem ini dapat berakibat runtuhnya balok secara mendadak. Sistem perencanaan penampang beton bertulang terhadap keruntuhan seimbang (*balance*) merupakan kondisi yang sangat ideal tetapi sulit dan tidak akan pernah dicapai. Sedangkan sistem perencanaan penampang beton bertulang dengan kondisi keruntuhan tarik (*under-reinforced*) boleh digunakan karena mudah dicapai dan dapat dijamin keamanan asalkan baja tulangan yang digunakan jangan terlalu kecil atau sedikit.

Menurut peraturan beton Indonesia (SNI 03-2847-2002), sistem perencanaan beton bertulang dibatasi dengan 2 kondisi berikut:

1. Agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan ( $\rho$ ) tidak terlalu kecil, diberikan syarat berikut:

$$A_s \text{ harus } \geq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\text{min}}$$

Dengan :

$$\rho = A_s/b.d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} . b . d \text{ atau } A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{4.f_y}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{4.f_y}$$

2. Agar penampang beton bertulang dapat mendekati keruntuhan seimbang, diberikan syarat berikut:

$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \text{ maks}} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\text{maks}}$$

Dengan:

$$A_{s \text{ maks}} = 0,7 . A_s$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 . \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{510 . \beta_1 . f'c}{(600 + f_y) . f_y}$$

Sehingga,

$$\rho_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{(600 + f_y) \cdot f_y}$$

**Struktur Kolom**

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal. Atau dengan kata lain kolom harus diperhitungkan untuk menyangga beban aksial tekan dengan eksentrisitas tertentu. Pada kolom, pembatasan jumlah tulangan kolom agar penampang berperilaku duktail agak sukar dilakukan karena beban aksial tekan lebih dominan sehingga keruntuhan tekan sulit dihindari. Jumlah luas penampang tulangan pokok memanjang kolom dibatasi dengan rasio penulangan  $\rho_g$  antara 0.01–0.08. Penulangan yang lazim dilakukan diantara 1.5% sampai 3% dari luas penampang kolom.

Karena  $P_u \leq \phi P_n$  (maks) dapat disusun  $A_g$  perlu berdasarkan kuat kolom  $P_u$  dengan rasio penulangan  $\rho_g$ , sebagai berikut:

- Untuk kolom dengan pengikat sengkang,
 
$$A_{g\text{ perlu}} = \frac{P_u}{0,80\phi \cdot \{0,85\phi \cdot f'c \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g\}}$$

- Untuk kolom dengan pengikat spiral,
 
$$A_{g\text{ perlu}} = \frac{P_u}{0,85\phi \cdot \{0,85\phi \cdot f'c \cdot (1 - \rho_g) + f_y \cdot \rho_g\}}$$

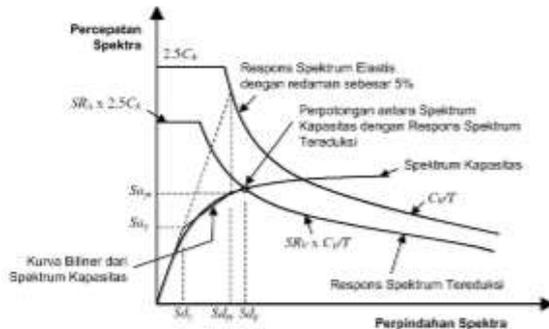
**Analisis Nonlinear Statik (Pushover)**

Analisa statik nonlinear adalah suatu prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Tujuan analisa pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai.

**Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)**

Merupakan metoda utama ATC 40 (ATC 1996), meskipun dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang, tetapi ternyata banyak juga diaplikasikan pada konstruksi lain. Dalam Metoda Spektrum Kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya-perpindahan yang memperhitungkan kondisi

inelastis struktur. Proses tersebut sama dengan Metode Koefisien Perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplotkan dalam format ADRS (*acceleration displacement response spectrum*).



Gambar 1. Penentuan Titik Kinerja menurut Metode Spektrum Kapasitas

**Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)**

Merupakan metoda utama yang dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinear. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien  $C_0, C_1, C_2$  dan  $C_3$  sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut “target perpindahan”,  $\delta_T$ .

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol  $\delta_T$ , ditentukan dari rumus berikut.

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

**Tingkat Kinerja Bangunan**

Ada dua metode yang tersedia untuk pemeriksaan tingkat kinerja bangunan yaitu berdasarkan *Applied Technology Council* (ATC)–40 dan *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) 273/356.

Berdasarkan ATC–40, kinerja bangunan dibagi dalam beberapa tingkat. Berikut uraian dari tingkatan–tingkatan tersebut.

- 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.
- 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.
- SP-3 *Life Safety* (LS), Struktur bangunan terlalu duktail. 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.

- SP-4 *Limited Safety*, Bukan merupakan level spesifik, tetapi merupakan jarak/tingkat antara SP-3 dengan SP-5.
- SP-5 *Structural Stability* (SS), Termasuk dalam kategori ini adalah struktur bangunan yang dalam pasca gempa, gedung diambang batas runtuh total.
- SP-6 *Not Considered*, Bukan merupakan tingkat kinerja, tetapi khusus untuk situasi-situasi dimana hanya untuk evaluasi *seismic nonstructural* atau *retrofit*.

Berdasarkan FEMA 273, terdapat beberapa tingkat kinerja bangunan. Berikut uraian mengenai tingkat kinerja tersebut.

- Tingkat Operasional (*Operational Level*), peralatan utilitas masih berfungsi, terdapat sedikit kerusakan.
- Tingkat Penggunaan Sedang (*Immediate Occupancy Level*), bangunan menerima "tanda hijau" (aman untuk digunakan), dari hasil pemeriksaan perlu sedikit perbaikan.
- Tingkat Aman untuk Dihuni (*Life Safety Level*), struktur tetap stabil dan mempunyai kapasitas pelayanan cukup, kerusakan bagian nonstructural masih terkontrol.
- Tingkat Pencegahan Keruntuhan (*Collapse Prevention Level*), bangunan tetap berdiri, hampir runtuh, kerusakan lain masih diperkenankan.

### Analisis Beban Seismik

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{MS} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Menentukan spektrum respons desain, sebagai berikut.

$$\text{Untuk } T < T_0; S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

$$\text{Untuk } T_0 \leq T \leq T_s; S_a = S_{DS}$$

$$\text{Untuk } T > T_s; S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

dengan,

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

$T$  = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

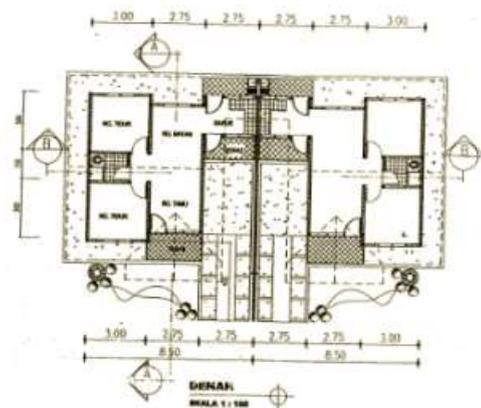
## METODE PENELITIAN

Metode evaluasi yang digunakan peneliti dalam penelitian ini adalah dengan melakukan perencanaan ulang dimensi tulangan balok dan kolom berdasarkan Tatacara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002, kemudian membandingkan hasil perencanaan ulang dengan dimensi tulangan yang sudah terpasang di lapangan. Gaya-gaya yang dipakai dalam perencanaan ini adalah gaya-gaya yang dihasilkan dari analisa *pushover*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

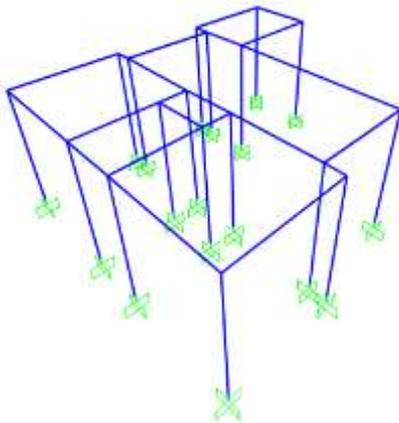
Data-data bangunan yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Tipe bangunan: rumah tinggal sederhana
- Jumlah lantai: 1
- Tinggi bangunan: 350 cm
- Ukuran denah: 850 cm arah-X dan 750 cm arah-Y
- Dimensi penampang balok 11 cm x 15 cm
- Dimensi penampang kolom 11cm x 11cm
- Tul. balok: 4D10mm, sengkang: D6-200
- Tul. kolom: 4D10mm, sengkang D6-200
- Bangunan terletak di Kotamobagu, Profinsi Sulawesi Utara.
- Jenis Tanah : Tanah Keras



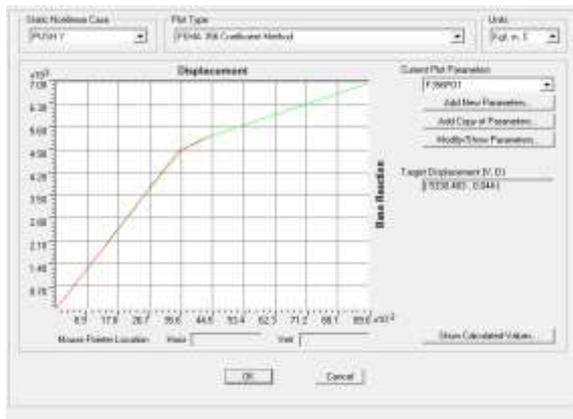
Gambar 2. Denah Rumah Tinggal Sederhana

Denah tersebut kemudian dimodelkan dalam bentuk 3D menggunakan program SAP 2000, menjadi seperti pada gambar berikut.

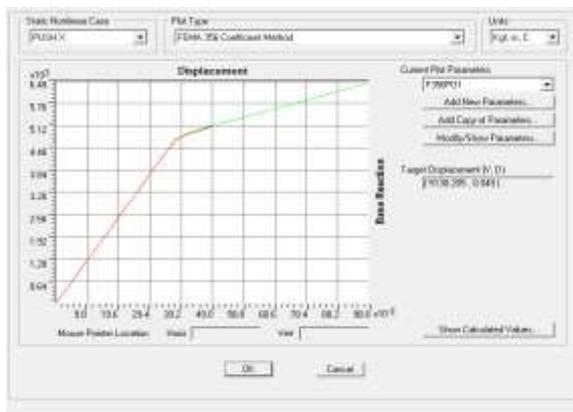


Gambar 3. Pemodelan Struktur

Dari hasil analisis *pushover* pada program sap2000 v.16 berdasarkan metode FEMA 356, maka didapat kurva *pushover* (hubungan antara *base shear* dan *roof displacement*) pada arah X dan Y.



Gambar 4. Kurva Pushover Arah X (FEMA 356)



Gambar 5. Kurva Pushover Arah Y (FEMA 356)

Berdasarkan metode koefisien FEMA356, target perpindahan dapat dihitung dengan rumus berikut.

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

➤ Arah-X

Diketahui :  $T_e = 0,3846$  detik

$C_0 = 1,0803$

$C_1 = 1.1394$

$C_2 = 1,0$

$C_3 = 1,0$

$S_a = 1,1$

$g = 9,81$  m/det<sup>2</sup>

$\delta_t = 4,843$  cm

➤ Arah-Y

Diketahui :  $T_e = 0,3786$  detik

$C_0 = 0,9778$

$C_1 = 1,1416$

$C_2 = 1,$

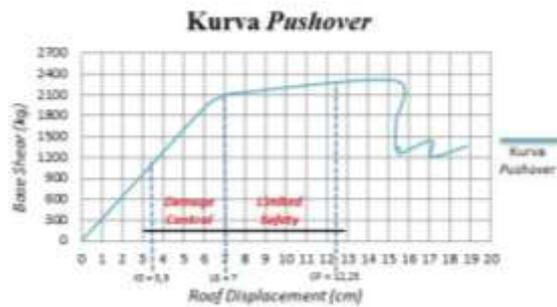
$C_3 = 1,0$

$S_a = 1,1$

$g = 9,81$  m/det<sup>2</sup>

$\delta_t = 4,256$  cm

Evaluasi Level Kinerja Bangunan



Gambar 6. Kurva Untuk Evaluasi Kinerja Bangunan

Berdasarkan target perpindahan yang diperoleh dari metode koefisien FEMA 356, diperoleh kinerja bangunan sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Kriteria Bangunan

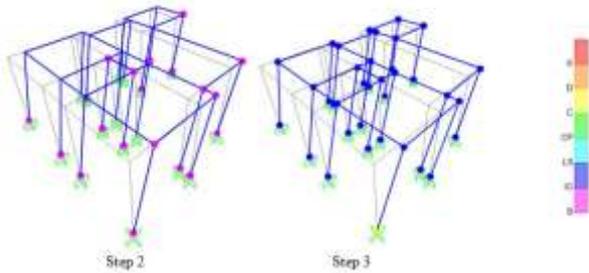
Arah	Target Perpindahan (cm)	Kriteria Bangunan
X	4,843	<i>Damage Control</i>
Y	4,256	<i>Damage Control</i>

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa berdasarkan target perpindahan metode koefisien FEMA 356, kinerja bangunan yang ditinjau berada pada kriteria *damage control* yaitu antara *immediate occupancy* dan *life safety* yang artinya

bangunan tersebut masih dalam kondisi aman untuk digunakan dan belum mengalami kerusakan yang berat.

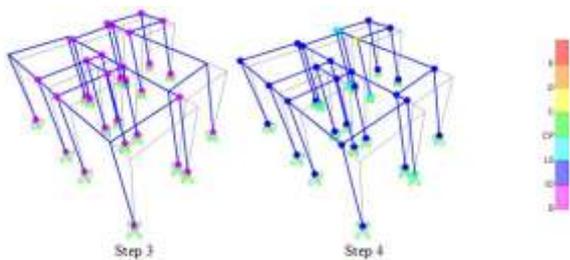
**Evaluasi Sendi Plastis**

Dari hasil target perpindahan metode koefisien FEMA 356 arah X sebesar 4,843 cm, maka berdasarkan tabel di atas nilai *displacement* berada di antara step 2 dan 3 dengan kondisi sendi plastis berada pada daerah *Immediate Occupancy*.



Gambar 7. Kondisi Sendi Plastis Arah X

Dari hasil target perpindahan metode koefisien FEMA 356 arah Y sebesar 4,256 cm, maka berdasarkan tabel di atas nilai *displacement* berada di antara step 3 dan 4 dengan kondisi sendi plastis berada pada daerah *Immediate Occupancy*.



Gambar 8. Kondisi Sendi Plastis Arah Y

**Evaluasi Balok**

**Perhitungan Tulangan Balok Arah X**

- Diketahui :
  - b = 110 mm
  - h = 150 mm
  - d<sub>s</sub> = 20 mm
  - f'c = 20 MPa
  - f<sub>y</sub> = 240 MPa
  - E<sub>s</sub> = 200000 MPa
  - β<sub>1</sub> = 0,85 (untuk f'c < 30 MPa)
  - M<sub>u</sub> = 449,3049 kgm = 4493049 Nmm
- Menghitung tinggi efektif penampang
  - d = h - d<sub>s</sub>

$$d = 150 - 20$$

$$d = 130 \text{ mm}$$

- Menghitung tulangan memanjang
    - K<sub>maks</sub> = 5,9786
    - $K = \frac{M_u}{\phi b d^2}$
    - $K = \frac{4493049}{0,8 \times 110 \times 130^2}$
    - K = 3,021
- Karena  $K \leq K_{maks}$ , maka dipakai perhitungan tulangan tunggal

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.K}{0,85.f'_c}} \right) \cdot d$$

$$a = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,021}{0,85 \times 20}} \right) \times 130$$

$$a = 25,629 \text{ mm}$$

- Menghitung luas tulangan perlu

$$A_{s,u} = \frac{0,85.f'_c.a.b}{f_y}$$

$$A_{s,u} = \frac{0,85 \times 20 \times 25,629 \times 110}{240}$$

$$A_{s,u} = 199,695 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan diameter 8 mm.

- Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s,u}}{1/4 \cdot \pi \cdot D^2}$$

$$n = \frac{199,695}{1/4 \times 3,14 \times 8^2}$$

$$n = 3,975$$

Dipakai 4 buah tulangan.

- Menghitung jumlah tulangan per baris.

$$m = \frac{b - 2 \cdot d_s}{D + S_n} + 1$$

$$m = \frac{110 - 2 \times 20}{8 + 20} + 1$$

$$m = 3,5$$

Dipakai 4 tulangan per baris.

- Menghitung luas tulangan terpasang (A<sub>s</sub>)

$$A_s = 4(1/4 \cdot \pi \cdot D^2)$$

$$A_s = 4 \times (1/4 \times 3,14 \times 8^2)$$

$$A_s = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$a = \frac{200,96 \times 240}{0,85 \times 20 \times 110}$$

$$a = 25,792 \text{ mm}$$

- Menghitung momen nominal

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$$

$$M_n = 200,96 \times 240 \times \left( 130 - \frac{25,792}{2} \right)$$

$$Mn = 5647981 \text{ Nmm}$$

- Menghitung momen rencana

$$Mr = \emptyset Mn$$

$$Mr = 0,8 \times 5647981$$

$$Mr = 4518385 \text{ Nmm}$$

- Kontrol momen (Mr harus  $\geq$  Mu)

$$Mr \geq Mu = 4518385 \geq 4493049 \text{ (Ok)}$$

- Menghitung regangan

$$\varepsilon_y = f_y / E_s = \frac{240}{200000} = 0,0012$$

$$\varepsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 \cdot d - a} \cdot \varepsilon_y =$$

$$\frac{25,792}{0,85 \times 130 - 25,792} \times 0,0012 = 0,000365$$

- Kontrol regangan ( $\varepsilon_c' \leq 0,003$ )

$$0,000365 \leq 0,003 \text{ (Ok)}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh dimensi tulangan baru untuk arah X berupa tulangan tunggal yaitu berdiameter 8mm berjumlah 4 buah. Jika dibandingkan dengan tulangan yang sudah terpasang dilapangan 4 buah tulangan diameter 10mm, maka hasil ini lebih ekonomis. Dengan demikian tulangan terpasang dilapangan sudah cukup kuat untuk menopang beban yang bekerja, namun belum cukup ekonomis. Untuk lebih ekonomis bisa digunakan tulangan hasil redesain.

#### **Perhitungan Tulangan Balok Arah Y**

Dengan langkah-langkah perhitungan yang sama seperti pada perhitungan tulangan balok arah x dengan Mu sebesar 4731385 Nmm, diperoleh dimensi tulangan baru untuk arah Y berupa tulangan tunggal yaitu berdiameter 10mm berjumlah 3 buah. Jika dibandingkan dengan tulangan yang sudah terpasang dilapangan 4 buah dimensi 10mm, maka hasil ini lebih ekonomis. Dengan demikian tulangan terpasang dilapangan sudah cukup kuat untuk menopang beban yang bekerja, namun belum cukup ekonomis. Untuk lebih ekonomis bisa digunakan tulangan hasil redesain.

#### **Evaluasi Kolom**

##### **Perhitungan Tulangan Kolom Arah X**

- Diketahui :

$$\text{Kolom} = 110/110$$

$$f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$P_u = 9622,33 \text{ N}$$

$$P_n = P_u / \emptyset = 14803,585 \text{ N}$$

- Diambil rasio tulangan ( $\rho_g = 0,02$ )

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g}$$

$$A_g = 0,02 A_{st}$$

- Menghitung dimensi tulangan

$$\emptyset P_n = 0,80 \emptyset \{ 0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) f_y \cdot A_{st} \}$$

$$14803,585 = 135,1616 A_{st}$$

$$A_{st} = 109,525 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 8$ mm

Luas untuk 1  $\emptyset 8$ mm =

$$1/4 \cdot \pi \cdot 8^2 = 50,625 \text{ mm}^2$$

- Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{109,525}{50,625} = 2,17$$

Sesuai dengan syarat minimum tulangan longitudinal, digunakan 4  $\emptyset 8$ mm.

$$A_{st} = 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

- Cek rasio penulangan pokok:

$$A_g = b \cdot h = 110 \times 100 = 12100 \text{ mm}^2$$

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{201,06}{12100} = 0,0166$$

Kontrol :

$$0,01 < \rho_g < 0,08$$

$$= 0,01 < 0,0166 < 0,08 \text{ (Ok)}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh dimensi tulangan baru untuk kolom yaitu 4 buah tulangan berdiameter 8mm. Jika dibandingkan dengan tulangan yang sudah terpasang dilapangan 4 buah dimensi 10mm, maka hasil ini lebih ekonomis. Dengan demikian tulangan terpasang dilapangan sudah cukup kuat untuk menopang beban yang bekerja namun belum cukup ekonomis. Untuk lebih ekonomis bisa digunakan tulangan hasil redesain.

##### **Perhitungan Tulangan Kolom Arah Y**

Dengan langkah-langkah perhitungan yang sama seperti pada perhitungan tulangan kolom arah x dengan Pu sebesar 15269,238 N, diperoleh dimensi tulangan baru untuk kolom yaitu 4 buah tulangan berdiameter 8mm. Jika dibandingkan dengan tulangan yang sudah terpasang dilapangan 4 buah dimensi 10mm, maka hasil ini lebih ekonomis. Dengan demikian tulangan terpasang dilapangan sudah cukup kuat untuk menopang beban yang bekerja namun belum cukup ekonomis. Untuk lebih ekonomis bisa digunakan tulangan hasil redesain.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan *performance point* diperoleh hasil evaluasi kinerja bangunan berdasarkan metode koefisien FEMA 273/356 yang menunjukkan bahwa struktur bangunan berada pada kategori *damage control* yang artinya bangunan masih dalam kondisi aman, belum mengalami kerusakan yang berat.
2. Dari hasil evaluasi sendi plastis, bangunan berada dalam kategori *Immediate Occupancy* yang artinya bangunan masih aman.
3. Dari hasil evaluasi balok dan kolom diperoleh dimensi tulangan baru yaitu:

	Balok		Kolom	
	Tulangan Pokok		Tulangan Pokok	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Tulangan Terpasang	4φ10 mm	4φ10 mm	4φ10 mm	4φ10 mm
Tulangan Redesain	4φ8 mm	3φ10 mm	4φ8 mm	4φ8 mm

4. Dari hasil evaluasi balok dan kolom menunjukkan bahwa kapasitas elemen struktur bangunan rumah yang ditinjau sangat aman dan masih memenuhi persyaratan terhadap pengaruh kombinasi beban mati dan beban gempa.

5. Dari hasil evaluasi menunjukkan bahwa dimensi tulangan terpasang di lapangan masih bisa diperkecil agar lebih ekonomis, tanpa mengurangi tingkat keamanan bangunan.

### Saran

Saran yang dapat diberikan melalui karya tulis ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk memeriksa kinerja dari suatu bangunan, bisa dilakukan analisa pushover dengan menggunakan program SAP 2000 karena lumayan mudah untuk dioperasikan dan hasilnya mudah diperoleh dan diinterpretasikan.
2. Jika suatu saat ada penelitian lagi tentang tingkat kinerja bangunan rumah sederhana dengan Analisis Statik *Nonlinear Pushover*, alangkah baiknya jika diperhitungkan pengaruh dinding.
3. Sebaiknya dievaluasi juga untuk bagian sambungan/pertemuan balok-kolom.
4. Meskipun pada kenyataannya tulangan tunggal tidak ada di lapangan, namun pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa untuk rumah sederhana seperti ini cukup dipasang tulangan tunggal saja. Tapi untuk memenuhi ketentuan yang berlaku, tetap harus dipasang tulangan tekan dan sengkang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council*. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building (ATC-40)*. California, U.S.A.
- Asroni, A. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI-03-2847-2002)*., Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI-1726-2002)*., Jakarta.
- Dewobroto, W. 2007. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000 Edisi Baru*. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Federal Emergency Management Agency*. 1997. *NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDING (FEMA 273)*. Washington, U.S.A.
- Federal Emergency Management Agency*. 2000. *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS (FEMA 356)*. Washington, U.S.A.
- Haryono, S., 2003. *Kajian Penggunaan Nonlinear Statik Pushover Analysis dengan Metode ATC-40, FEMA 356, FEMA 440 dan Perilaku Seismic Inelastic Time History Analysis untuk Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan pasca Gempa*. Jurnal Teknik Sipil UGM, Yogyakarta.

- Pranata, Y.A., 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis*. Jurnal Teknik Sipil UKM, Bandung.
- Resmi, B. M., 2010. *Modul Kuliah struktur Beton Bertulang 1*. Universitas Mercu Buana.
- Sembiring, J. T., 2002. *Beton Bertulang Edisi Revisi*. Rekayasa Sains, Bandung.
- Waworuntu, G., 2014. *Evaluasi Kemampuan Struktur Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa*. Skripsi Program S1 Teknik Sipil Unsrat, Manado.