

PENGARUH VARIASI BENTUK PENAMPANG KOLOM TERHADAP PERILAKU ELEMEN STRUKTUR AKIBAT BEBAN GEMPA

Krisnamurti, Ketut Aswatama Wiswamitra, Willy Kriswardhana
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Slamet Riyadi No. 62, Jember 68111, Indonesia

ABSTRAK

Kolom berfungsi sebagai penerus beban-beban dari balok dan pelat ke tanah dasar melalui fondasi. Kolom berfungsi menahan beban aksial tekan dengan atau tanpa momen lentur. Kolom memegang peranan penting pada keutuhan struktur, apabila kolom mengalami kegagalan akan berakibat pada keruntuhan struktur bangunan atas gedung. Kolom persegi dan kolom persegi panjang lebih banyak digunakan daripada kolom lingkaran. Padahal, bentuk kolom lingkaran dipercaya mempunyai kekuatan menahan beban aksial yang lebih besar dibandingkan kolom persegi dan persegi panjang. Kolom bersengkang lingkaran juga terbukti mempunyai daktilitas yang lebih baik dibandingkan kolom persegi dan persegi panjang. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh bentuk penampang kolom terhadap keruntuhan struktur gedung perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk kolom mana yang memberikan pengaruh terbaik dalam mencegah keruntuhan struktur gedung. Penelitian ini menggunakan model gedung dengan penampang kolom persegi, persegi panjang dan lingkaran. Beban gempa dihitung dengan menggunakan metode statik ekuivalen. Elemen struktur masing – masing gedung diperiksa kapasitasnya dan dilakukan pemeriksaan keruntuhan setelah ditambahkan beban gempa. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa balok pada struktur gedung dengan kolom persegi panjang lebih cepat runtuh daripada balok pada struktur gedung dengan kolom persegi dan lingkaran, baik pada keruntuhan lentur maupun keruntuhan geser. Kapasitas kolom lingkaran dalam menerima beban aksial lebih besar 11% daripada kolom persegi dan persegi panjang. Dari analisis kapasitas penampang didapatkan bahwa kolom persegi panjang dapat menahan momen arah X lebih baik daripada kolom persegi dan lingkaran, namun sebaliknya kolom persegi panjang lebih lemah dalam menerima momen arah Y daripada kolom persegi dan lingkaran. Kolom persegi dan lingkaran relatif stabil dalam menerima momen dari arah X maupun Y.

Kata Kunci: bentuk penampang kolom, beam sidesway mechanism

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan resiko gempa tinggi. SNI 03-1726-2002 membagi Indonesia menjadi 6 wilayah resiko gempa. Dalam mengantisipasi terjadinya bencana akibat gempa, diperlukan perancangan kinerja struktur yang mampu menghasilkan mekanisme keruntuhan yang ideal. Terdapat dua mekanisme keruntuhan yang dikenal, yaitu *beam sidesway mechanism* dan *column sidesway mechanism*. Mekanisme yang diharapkan terjadi adalah *beam sidesway mechanism*, yang dapat dicapai jika kolom memiliki kapasitas menahan beban yang lebih baik dibandingkan balok.

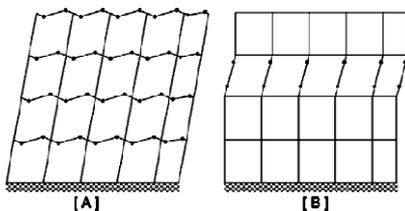
Sumber pemencaran energi pada portal beton bertulang adalah terbentuknya

sendi plastis pada balok di seluruh lantai dan pada penampang kolom terbawah yang berhubungan dengan pondasi. Perencanaan portal beton bertulang yang dilaksanakan dengan menentukan ragam keruntuhan dan lokasi sumber pemencaran energi tertentu, selanjutnya penampang lainnya direncanakan lebih kuat dari penampang di lokasi sendi plastis tersebut terjadi, disebut perencanaan mekanisme kapasitas.

Mekanisme keruntuhan pada portal rangka terbuka yang berupa pembentukan sendi plastis pada balok-balok lebih dikehendaki daripada mekanisme pembentukan sendi plastis yang terpusat pada ujung-ujung kolom suatu lantai (*soft-*

storey mechanism), karena alasan sebagai berikut :

1. Pada mekanisme balok, pemencaran energi gempa terjadi di dalam banyak unsur, sedangkan pada mekanisme kolom pemencaran energi terpusat hanya pada sejumlah kecil kolom-kolom struktur.
2. Pada mekanisme balok, bahaya ketidakstabilan jauh lebih kecil dibandingkan dengan yang mungkin terjadi pada mekanisme kolom (*soft-storey mechanism*).



Gambar 1. Mekanisme yang dapat terjadi pada portal rangka terbuka

Pada **Gambar 1[a]** menunjukkan mekanisme keruntuhan yang diinginkan, karena sendi plastis yang terjadi pada balok tidak menyebabkan terjadi keruntuhan, sedangkan **Gambar 1[b]** merupakan mekanisme keruntuhan yang tidak diinginkan karena sendi plastis yang terjadi pada kolom menyebabkan keruntuhan lokal pada satu tingkat. Agar menjamin terjadinya mekanisme keruntuhan dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok, konsep kapasitas diterapkan untuk merencanakan agar kolom lebih kuat dari balok (*strong column-weak beam*). Keruntuhan geser pada balok yang bersifat getas juga diusahakan agar tidak terjadi lebih dulu sebelum terjadinya kegagalan akibat beban lentur pada sendi-sendi plastis balok setelah mengalami rotasi-rotasi plastis yang cukup besar. (H. Kusuma, Gideon : 1993). Krisnamurti (2010) menyatakan

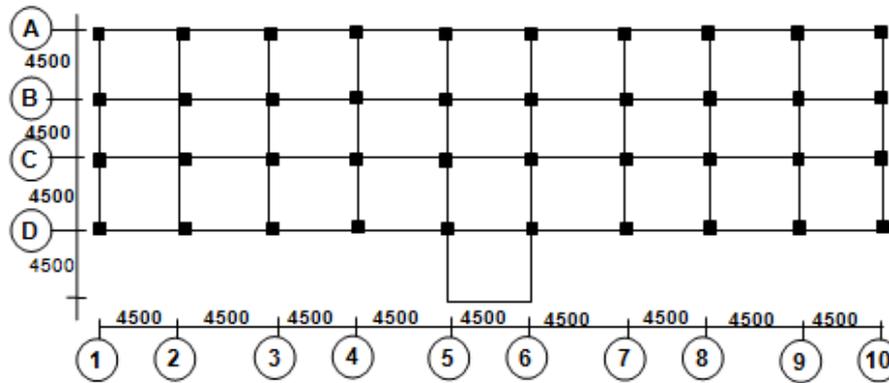
bahwa mekanisme keruntuhan side sway mechanism yang ideal dapat dicapai dengan melakukan pengaturan luasan tulangan pada balok dan kolom portal.

Dalam bangunan, kolom berfungsi sebagai elemen struktur yang menyalurkan gaya-gaya dalam dari balok dan pelat, untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi. Gaya dari balok dan pelat yang disalurkan berupa gaya aksial tekan dengan/tanpa momen lentur. Pada struktur bangunan atas, kolom memegang peranan penting pada ketahanan struktur, apabila kolom mengalami kegagalan maka berakibat pada keruntuhan struktur secara keseluruhan. Kolom bersengkang (segi empat dan bujur sangkar) merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena pelaksanaan pekerjaannya mudah dan harga pembuatannya murah. (Asroni, Ali: 2010). Bustamy (2011) dalam penelitiannya mengenai kapasitas lentur dan daktilitas dalam menahan beban lateral pada berbagai bentuk kolom mendapatkan bahwa kolom dengan sengkang lingkaran memiliki kinerja terbaik dalam menahan beban dan daktilitas dibandingkan kolom yang mempunyai sengkang persegi.

Dari kenyataan tersebut di atas, maka timbul gagasan penelitian mengenai analisis perilaku elemen struktur pada gedung yang dikenai beban gempa dengan menggunakan variasi bentuk penampang kolom yang berbeda, yaitu kolom persegi dengan sengkang persegi, kolom persegi panjang dengan sengkang persegi panjang, dan kolom lingkaran dengan sengkang spiral dengan luas penampang beton dan luasan tulangan yang sama.

Metode

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Jember. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa seperangkat komputer, printer, peralatan tulis, dan model struktur gedung 3 lantai



Gambar 2. Denah Struktur Gedung

Rusunawa Pondok Pesantren Al-Ghozali Kab. Jember beserta data-data teknisnya. Data awal yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: a) Gambar denah dari Rusunawa Pondok Pesantren Al-Ghozali Kab. Jember; b) Beban hidup lantai dan atap bangunan; c) Beban mati bangunan, termasuk dinding, tegel, spesi, dan plafond; d) Dimensi pelat, balok, dan kolom bangunan; serta e) Mutu bahan beton (f_c') dan baja tulangan (f_y).

Adapun bentuk dari model kolom struktur gedung yang dianalisis pada penelitian ini ada 3 macam, yaitu kolom persegi dengan sengkang persegi yang berdimensi 35cmx35cm, kolom persegi panjang dengan sengkang persegi panjang yang berdimensi 30cmx41cm, dan kolom lingkaran dengan sengkang spiral yang berdiameter 39,5 cm. Kesemua kolom tersebut direncanakan memiliki luas penampang A_g dan luasan tulangan memanjang A_s' yang sama. Dimensi balok yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20cmx45cm.

Penelitian dilaksanakan dengan rangkaian kerangka penelitian sebagai berikut: (1) Menentukan model gedung; (2) Menentukan dimensi awal elemen struktur gedung (b, h, d), mutu bahan (f_c', f_y) serta kategori/karakteristik gedung (I, ζ, n); (3) Menentukan berat dan massa bangunan; (4) Menghitung beban gempa dengan metode analisis statik ekuivalen [Purwono (2007) dan Krisnamurti (2009)]

yang meliputi: a) Perhitungan Beban Total Gedung; b) Perhitungan Taksiran Waktu Getar Alami dengan persamaan $T = 0,06 H^{3/4}$ (detik); c) Membatasi nilai waktu getar alami fundamental T dari struktur gedung, untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel dengan rumus $T_1 = \zeta \cdot n$; d) Perhitungan Gaya Geser Dasar (V) dengan rumus

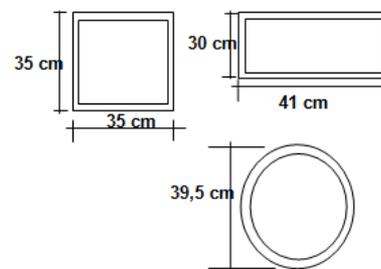
$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t$$

e) Distribusi beban gempa nominal statik ekuivalen (F_i) dengan persamaan

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} \cdot V$$

f) Analisis Terhadap waktu getar dengan persamaan $T_{Rayleigh}$

$$T_i = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}}$$



Gambar 3. Bentuk kolom yang akan dianalisis

(5) Menentukan gaya-gaya dalam pada elemen struktur; (6) Menentukan rencana penulangan balok dan kolom; (7) Melakukan analisis desain kapasitas pada struktur gedung; (8) Melakukan pemeriksaan keruntuhan struktur gedung pada gedung kolom persegi, gedung kolom persegi panjang, dan gedung kolom lingkaran dengan cara melakukan penambahan beban gempa 10%, 20%, dan 40% terhadap struktur gedung.

Hasil dan pembahasan

Keruntuhan pada balok ditinjau melalui lentur dan geser yang bekerja pada balok tersebut. Keruntuhan balok pada struktur gedung diindikasikan dengan nilai ϕM_n yang terlampaui oleh M_u dan nilai ϕV_n yang terlampaui oleh V_u . Nilai ϕM_n dan ϕV_n didapatkan dari hasil perhitungan tulangan terpasang, sedangkan nilai M_u dan V_u didapatkan dari hasil perhitungan statika.

Untuk mendapatkan keruntuhan yang diinginkan, hasil beban gempa yang diperoleh melalui analisis statik ekuivalen ditingkatkan secara bertahap. Peningkatan nilai beban gempa diperlukan untuk mengetahui bagian elemen struktur mana yang runtuh, sehingga tidak ada patokan yang pasti mengenai penambahan beban gempa tersebut.

Perhitungan kapasitas lentur dan geser balok

Perhitungan kapasitas lentur balok untuk masing-masing jenis bentuk kolom ditampilkan pada **Tabel 1, 2 dan 3**. Sedangkan hasil perhitungan kapasitas geser balok ditampilkan pada **Tabel 4, 5, dan 6**.

Hasil analisis gaya-gaya dalam dan kapasitas elemen struktur

Hasil analisis lentur dan geser pada balok, analisis gaya aksial pada kolom, analisis lentur pada kolom akibat momen

arah X dan momen arah Y dapat dilihat pada **Tabel 7** hingga **Tabel 11**.

Sebelum adanya penambahan beban gempa, elemen balok pada semua tingkat belum mencapai kapasitas lenturnya. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung tersebut masih aman terhadap momen bila kuat gempa yang terjadi tidak melebihi kuat gempa yang telah direncanakan. Pada penambahan beban gempa sebesar 10%, balok lantai 1 pada gedung kolom persegi panjang sudah mencapai kapasitas lenturnya yaitu sebesar 4859,52 kgm. Sedangkan balok pada gedung kolom persegi dan gedung kolom lingkaran pada semua tingkat masih belum tercapai kapasitasnya. Pada penambahan beban gempa sebesar 20%, balok lantai 1 pada gedung kolom persegi panjang sudah mencapai kapasitas lenturnya yaitu sebesar 5051,03 kgm. Balok lantai 2 pada gedung kolom persegi panjang juga sudah mencapai kapasitasnya yaitu sebesar 4367,07 kgm. Sedangkan balok pada gedung kolom persegi dan gedung kolom lingkaran pada semua tingkat masih belum tercapai kapasitasnya. Pada penambahan beban gempa sebesar 40%, balok lantai 1 dan lantai 2 pada gedung kolom persegi, gedung kolom persegi panjang, dan gedung kolom lingkaran sudah mencapai kapasitas lenturnya. Namun balok lantai 3 pada gedung – gedung tersebut belum juga tercapai kapasitas lenturnya.

Pola perilaku struktur berdasarkan kapasitas lentur balok pada berbagai penambahan beban gempa ditampilkan pada **Gambar 8** hingga **Gambar 10**.

Dari grafik hubungan momen yang terjadi pada balok dengan penambahan beban gempa, dapat diketahui bahwa balok pada gedung kolom persegi panjang lebih cepat mencapai keruntuhan lentur daripada balok pada gedung kolom persegi dan lingkaran yang relatif lebih aman terhadap lentur.

Tabel 1. Perhitungan Kapasitas Lentur Balok Pada Gedung Dengan Kolom Persegi

| Lantai | Mu (kgm) | b (cm) | As' (atas) (cm ²) | As (bawah) (cm ²) | a (cm) | 1/2 a (cm) | $w=(As/bd)x$ (fy/fc') | $(1,18.w.d/\beta)$ <hf (cm) | hf (cm) | $\frac{\Phi x Mn}{\text{Terpakai}}$ (kgm) | Cek Kapasitas |
|----------|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|------------|--|------------------|
| Lantai 1 | 4324,98 | 20 | 1,43 | 4,28 | 3,36 | 1,68 | 0,07 | 3,96 | 12 | 4848,95 | OK |
| Lantai 2 | 3836,26 | 20 | 1,43 | 3,80 | 2,98 | 1,49 | 0,06 | 3,52 | 12 | 4329,47 | OK |
| Lantai 3 | 1794,84 | 20 | 1,43 | 3,57 | 2,80 | 1,40 | 0,06 | 3,30 | 12 | 4078,37 | OK |

Tabel 2. Perhitungan Kapasitas Lentur Balok Pada Gedung Dengan Kolom Persegi Panjang

| Lantai | Mu (kgm) | b (cm) | As' (atas) (cm ²) | As (bawah) (cm ²) | a (cm) | 1/2 a (cm) | $w=(As/bd)x$ (fy/fc') | $(1,18.w.d/\beta)$ <hf (cm) | hf (cm) | $\frac{\Phi x Mn}{\text{Terpakai}}$ (kgm) | Cek Kapasitas |
|----------|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|------------|--|------------------|
| Lantai 1 | 4668,01 | 20 | 1,43 | 4,28 | 3,36 | 1,68 | 0,07 | 3,96 | 12 | 4848,95 | OK |
| Lantai 2 | 4086,51 | 20 | 1,43 | 3,80 | 2,98 | 1,49 | 0,06 | 3,52 | 12 | 4329,47 | OK |
| Lantai 3 | 1880,38 | 20 | 1,43 | 3,57 | 2,80 | 1,40 | 0,06 | 3,30 | 12 | 4078,37 | OK |

Tabel 3. Perhitungan Kapasitas Lentur Balok Pada Gedung Dengan Kolom Lingkaran

| Lantai | Mu (kgm) | b (cm) | As' (atas) (cm ²) | As (bawah) (cm ²) | A (cm) | 1/2 a (cm) | $w=(As/bd)x$ (fy/fc') | $(1,18.w.d/\beta)$ <hf (cm) | hf (cm) | $\frac{\Phi x Mn}{\text{Terpakai}}$ (kgm) | Cek Kapasitas |
|----------|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|------------|--|------------------|
| Lantai 1 | 4359,72 | 20 | 1,43 | 4,28 | 3,36 | 1,68 | 0,07 | 3,96 | 12 | 4848,95 | OK |
| Lantai 2 | 3869,27 | 20 | 1,43 | 3,80 | 2,98 | 1,49 | 0,06 | 3,52 | 12 | 4329,47 | OK |
| Lantai 3 | 1805,61 | 20 | 1,43 | 3,57 | 2,80 | 1,40 | 0,06 | 3,30 | 12 | 4078,37 | OK |

Tabel 4. Perhitungan Kapasitas Geser Balok Pada Gedung Dengan Kolom Persegi

| Lantai | Vu terpakai (kg) | Vc (kg) | Vs = (Vu/Φ) (kg) | S = Av.fy.d/Vs (cm) | Sengkang terpakai (kg) | Vs Terpasang (kg) | Vn Vs terp +Vc (kg) | Vub/Φ (kg) | Cek Kapasitas |
|----------|------------------------|------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|------------------|
| Lantai 1 | 9555,59 | 0 | 15925,98 | 9,46 | Φ10-85 | 17731,76 | 17731,76 | 15925,98 | OK |
| Lantai 2 | 8711,58 | 0 | 14519,31 | 10,38 | Φ10-95 | 15865,26 | 15865,26 | 14519,31 | OK |
| Lantai 3 | 3686,94 | 0 | 6144,895 | 24,53 | Φ10-100 | 15072,00 | 15072,00 | 6144,89 | OK |

Tabel 5. Perhitungan Kapasitas Geser Balok Pada Gedung Dengan Kolom Persegi Panjang

| Lantai | Vu terpakai (kg) | Vc (kg) | Vs = (Vu/Φ) (kg) | S = Av.fy.d/Vs (cm) | Sengkang terpakai (kg) | Vs Terpasang (kg) | Vn Vs terp +Vc (kg) | Vub/Φ (kg) | Cek Kapasitas |
|----------|------------------------|------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|------------------|
| Lantai 1 | 9824,99 | 0 | 16374,98 | 9,20 | Φ10-90 | 17731,76 | 17731,76 | 16374,98 | OK |
| Lantai 2 | 8865,74 | 0 | 14776,23 | 10,20 | Φ10-100 | 15865,26 | 15865,26 | 14776,23 | OK |
| Lantai 3 | 3694,37 | 0 | 6157,289 | 24,48 | Φ10-100 | 13188,00 | 13188,00 | 6157,29 | OK |

Tabel 6. Perhitungan Kapasitas Geser Balok Pada Gedung Dengan Kolom Lingkaran

| Lantai | Vu terpakai (kg) | Vc (kg) | Vs = (Vu/Φ) (kg) | S = Av.fy.d/Vs (cm) | Sengkang terpakai (kg) | Vs Terpasang (kg) | Vn Vs terp +Vc (kg) | Vub/Φ (kg) | Cek Kapasitas |
|----------|------------------------|------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|------------------|
| Lantai 1 | 9595,38 | 0 | 15992,3 | 9,42 | Φ10-90 | 17731,76 | 17731,76 | 15992,30 | OK |
| Lantai 2 | 8733,28 | 0 | 14555,47 | 10,35 | Φ10-100 | 15865,26 | 15865,26 | 14555,47 | OK |
| Lantai 3 | 3686,67 | 0 | 6144,458 | 24,53 | Φ10-100 | 13188,00 | 13188,00 | 6144,46 | OK |

Tabel 7. Hasil analisis lentur pada balok akibat gaya gempa Arah X

| Jenis Struktur Kolom | Lantai | Mu (kgm) akibat penambahan beban gempa | | | | ØMn (kgm) |
|-----------------------|----------|--|----------|----------|----------|-----------|
| | | 0% | 10% | 20% | 40% | |
| Kolom Persegi | Lantai 1 | 4,324.98 | 4,493.76 | 4,662.54 | 5,000.10 | 4,848.95 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 1 | 4,668.01 | 4,859.52 | 5,051.03 | 5,434.05 | 4,848.95 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 1 | 4,359.72 | 4,544.11 | 4,716.07 | 5,059.98 | 4,848.95 |
| Kolom Persegi | Lantai 2 | 3,836.26 | 3,962.74 | 4,089.22 | 4,342.18 | 4,329.47 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 2 | 4,086.51 | 4,226.79 | 4,367.07 | 4,647.63 | 4,329.47 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 2 | 3,869.27 | 3,997.89 | 4,126.23 | 4,382.91 | 4,329.47 |
| Kolom Persegi | Lantai 3 | 1,794.84 | 1,863.42 | 1,931.99 | 2,069.18 | 4,078.37 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 3 | 1,880.38 | 1,952.07 | 2,023.77 | 2,167.15 | 4,078.37 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 3 | 1,805.61 | 1,874.83 | 1,943.79 | 2,081.70 | 4,078.37 |

Tabel 8. Hasil analisis gaya geser pada balok akibat beban gempa Arah X

| Jenis Struktur Kolom | Lantai | Vu,b (kg) akibat penambahan beban gempa | | | | Vn (kg) |
|-----------------------|----------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0% | 10% | 20% | 40% | |
| Kolom Persegi | Lantai 1 | 15,925.98 | 16,556.91 | 17,187.83 | 18,449.68 | 17,731.76 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 1 | 16,374.98 | 17,038.16 | 17,701.33 | 19,027.67 | 17,731.76 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 1 | 15,992.30 | 16,628.15 | 17,263.99 | 17,899.82 | 17,731.76 |
| Kolom Persegi | Lantai 2 | 14,519.31 | 15,024.14 | 15,528.81 | 16,538.15 | 15,865.26 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 2 | 14,776.23 | 15,293.39 | 15,810.54 | 16,844.83 | 15,865.26 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 2 | 14,555.47 | 15,061.99 | 15,568.49 | 16,075.02 | 15,865.26 |
| Kolom Persegi | Lantai 3 | 6,144.89 | 6,374.89 | 6,606.42 | 7,064.92 | 15,072.00 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 3 | 6,157.29 | 6,381.60 | 6,606.51 | 6,832.59 | 13,188.00 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 3 | 6,144.46 | 6,373.54 | 6,602.61 | 6,832.59 | 13,188.00 |

Tabel 9. Gaya aksial yang terjadi pada kolom

| Jenis Struktur Kolom | Lantai | Pu (kg) | ØPn (kg) |
|-----------------------|----------|-----------|------------|
| Kolom Persegi | Lantai 1 | 73,074.54 | 217,738.82 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 1 | 73,030.54 | 217,738.82 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 1 | 73,151.44 | 240,862.54 |
| Kolom Persegi | Lantai 2 | 42,542.51 | 217,738.82 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 2 | 42,503.84 | 217,738.82 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 2 | 42,590.64 | 240,862.54 |
| Kolom Persegi | Lantai 3 | 12,342.51 | 217,738.82 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 3 | 12,293.71 | 217,738.82 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 3 | 12,362.96 | 240,862.54 |

Hasil analisis gaya-gaya dalam dan kapasitas elemen struktur

Hasil analisis lentur dan geser pada balok, analisis gaya aksial pada

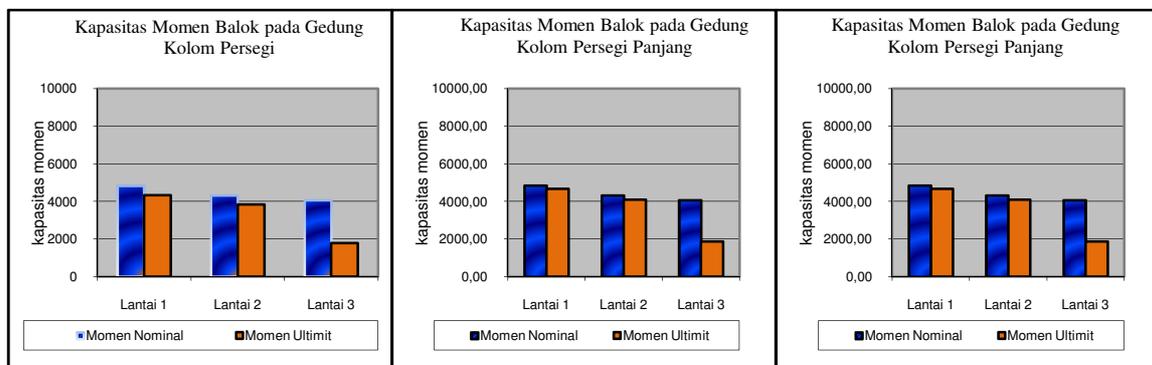
kolom, analisis lentur pada kolom akibat momen arah X dan momen arah Y dapat dilihat pada **Tabel 7** hingga **Tabel 11**.

Tabel 10. Hasil analisis lentur pada kolom akibat Momen arah X.

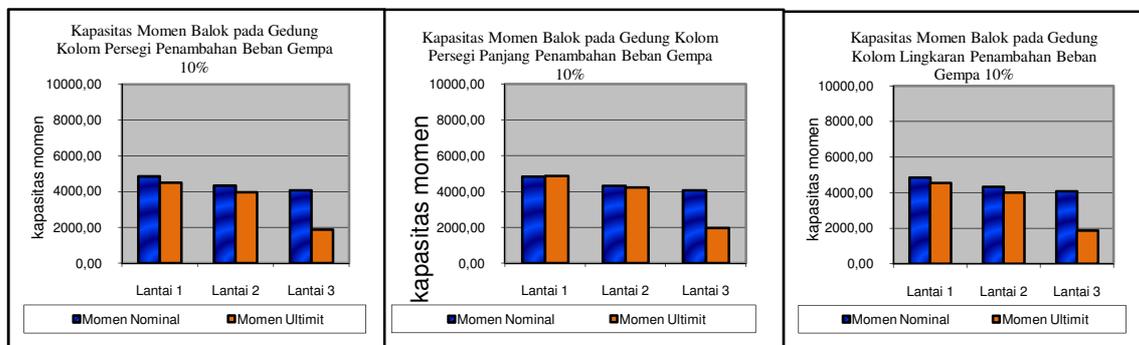
| Jenis Struktur Kolom | Lantai | Mu (kgm) akibat penambahan beban gempa | | | | ØMn (kgm) |
|-----------------------|----------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0% | 10% | 20% | 40% | |
| Kolom Persegi | Lantai 1 | 10,795.55 | 11,872.06 | 12,948.56 | 15,101.56 | 14,700.00 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 1 | 10,387.26 | 11,421.33 | 12,455.20 | 14,523.13 | 17,720.00 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 1 | 10,730.73 | 11,800.49 | 12,870.25 | 15,009.76 | 11,700.00 |
| Kolom Persegi | Lantai 2 | 9,210.82 | 10,121.72 | 11,032.64 | 12,854.45 | 11,410.00 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 2 | 9,122.15 | 10,020.29 | 10,918.43 | 12,714.70 | 13,710.00 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 2 | 9,201.02 | 10,110.38 | 11,019.75 | 12,838.46 | 12,110.00 |
| Kolom Persegi | Lantai 3 | 6,029.03 | 6,624.61 | 7,220.19 | 8,411.35 | 7,650.00 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 3 | 5,687.14 | 6,253.52 | 6,819.51 | 7,951.89 | 9,100.00 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 3 | 5,976.63 | 6,567.67 | 7,158.70 | 8,340.77 | 8,840.00 |

Tabel 11. Hasil analisis lentur pada kolom akibat Momen arah Y

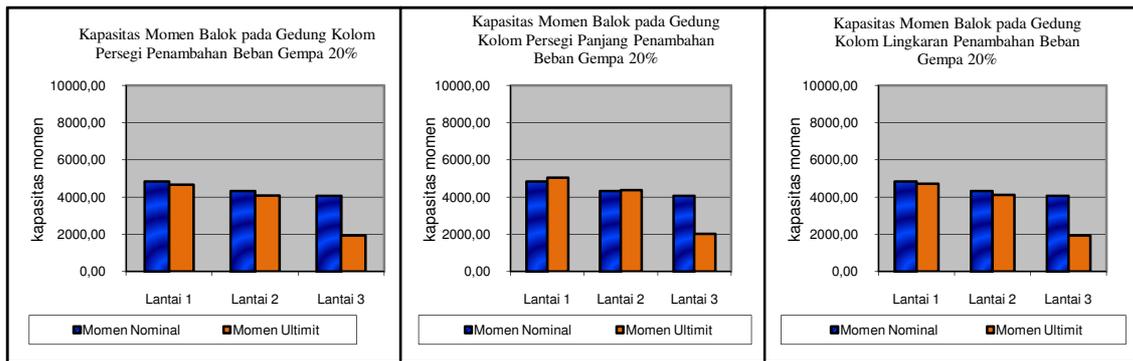
| Jenis Struktur Kolom | Lantai | Mu (kgm) akibat penambahan beban gempa | | | | ØMn (kgm) |
|-----------------------|----------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0% | 10% | 20% | 40% | |
| Kolom Persegi | Lantai 1 | 10,795.55 | 11,872.06 | 12,948.56 | 15,101.56 | 13,720.00 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 1 | 10,387.26 | 11,421.33 | 12,455.20 | 14,523.13 | 11,050.00 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 1 | 10,730.73 | 11,800.49 | 12,870.25 | 15,009.76 | 11,530.00 |
| Kolom Persegi | Lantai 2 | 9,210.82 | 10,121.72 | 11,032.64 | 12,854.45 | 12,480.00 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 2 | 9,122.15 | 10,020.29 | 10,918.43 | 12,714.70 | 10,440.00 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 2 | 9,201.02 | 10,110.38 | 11,019.75 | 12,838.46 | 11,770.00 |
| Kolom Persegi | Lantai 3 | 6,029.03 | 6,624.61 | 7,220.19 | 8,411.35 | 8,950.00 |
| Kolom Persegi Panjang | Lantai 3 | 5,687.14 | 6,253.52 | 6,819.51 | 7,951.89 | 7,510.00 |
| Kolom Lingkaran | Lantai 3 | 5,976.63 | 6,567.67 | 7,158.70 | 8,340.77 | 8,920.00 |



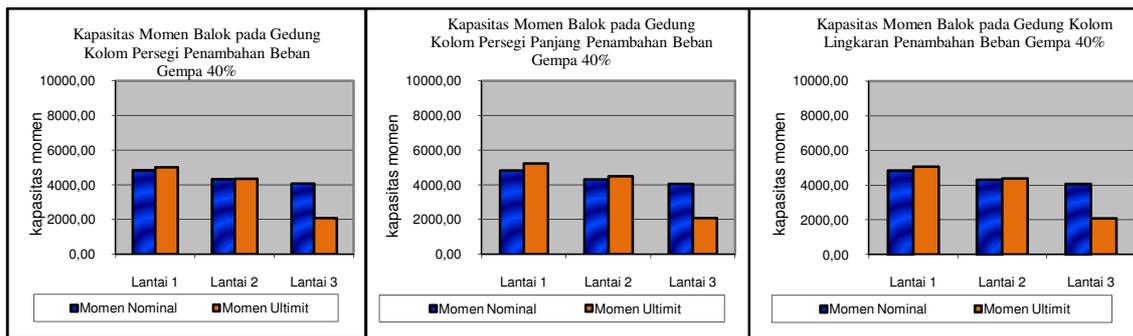
Gambar 4. Kapasitas Lentur Balok Sebelum Penambahan Beban Gempa



Gambar 5. Kapasitas Lentur Balok Pada Penambahan Beban Gempa 10%



Gambar 6. Kapasitas Lentur Balok Pada Penambahan Beban Gempa 20%



Gambar 7. Kapasitas Lentur Balok Pada Penambahan Beban Gempa 40%

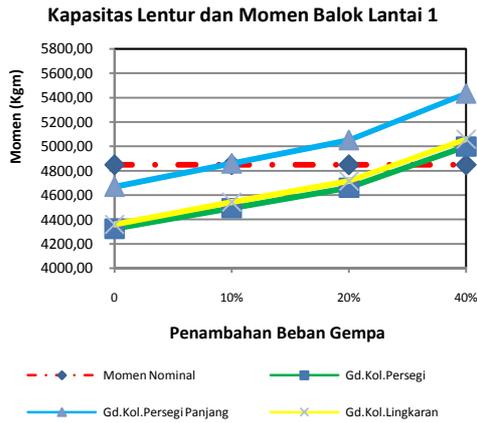
Sebelum adanya penambahan beban gempa, elemen balok pada semua tingkat belum mencapai kapasitas lenturnya. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung tersebut masih aman terhadap momen bila kuat gempa yang terjadi tidak melebihi kuat gempa yang telah direncanakan. Pada penambahan beban gempa sebesar 10%, balok lantai 1 pada gedung kolom persegi panjang sudah mencapai kapasitas lenturnya yaitu sebesar 4859,52 kgm. Sedangkan balok pada gedung kolom persegi dan gedung kolom lingkaran pada semua tingkat masih belum tercapai kapasitasnya. Pada penambahan beban gempa sebesar 20%, balok lantai 1 pada gedung kolom persegi panjang sudah mencapai kapasitas lenturnya yaitu sebesar 5051,03 kgm.

Balok lantai 2 pada gedung kolom persegi panjang juga sudah mencapai kapasitasnya yaitu sebesar 4367,07 kgm. Sedangkan balok pada gedung kolom persegi dan gedung kolom lingkaran pada semua tingkat masih belum tercapai kapasitasnya. Pada penambahan beban gempa sebesar 40%, balok lantai 1 dan lantai 2 pada gedung kolom persegi, gedung kolom persegi panjang, dan gedung kolom lingkaran sudah mencapai

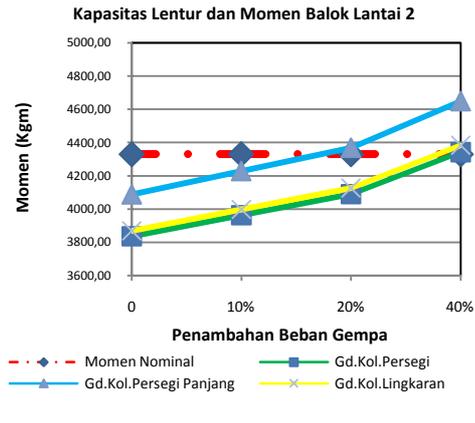
kapasitas lenturnya. Namun balok lantai 3 pada gedung – gedung tersebut belum juga tercapai kapasitas lenturnya.

Pola perilaku struktur berdasarkan kapasitas lentur balok pada berbagai penambahan beban gempa ditampilkan pada Gambar 8 hingga Gambar 10.

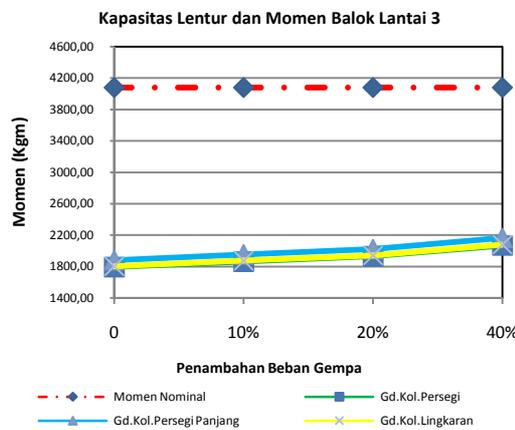
Dari grafik hubungan momen yang terjadi pada balok dengan penambahan beban gempa, dapat diketahui bahwa balok pada gedung kolom persegi panjang lebih cepat mencapai keruntuhan lentur daripada balok pada gedung kolom persegi dan lingkaran yang relatif lebih aman terhadap lentur. Hal ini disebabkan gaya momen yang terjadi pada balok gedung kolom persegi panjang lebih besar dibandingkan momen yang terjadi pada gedung kolom persegi dan lingkaran. Hal yang sama juga terjadi pada balok lantai 2 dan 3 pada semua gedung. Momen yang terjadi pada balok gedung kolom persegi panjang rata – rata 8% lebih besar daripada momen yang bekerja pada balok gedung kolom persegi dan gedung kolom persegi panjang.



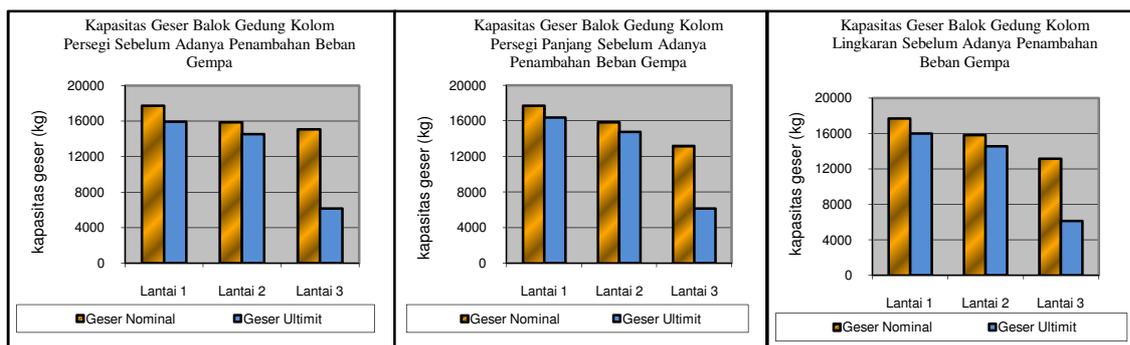
Gambar 8. Kapasitas Lentur dan Momen Balok Lantai 1



Gambar 9. Kapasitas Lentur dan Momen Balok Lantai 2



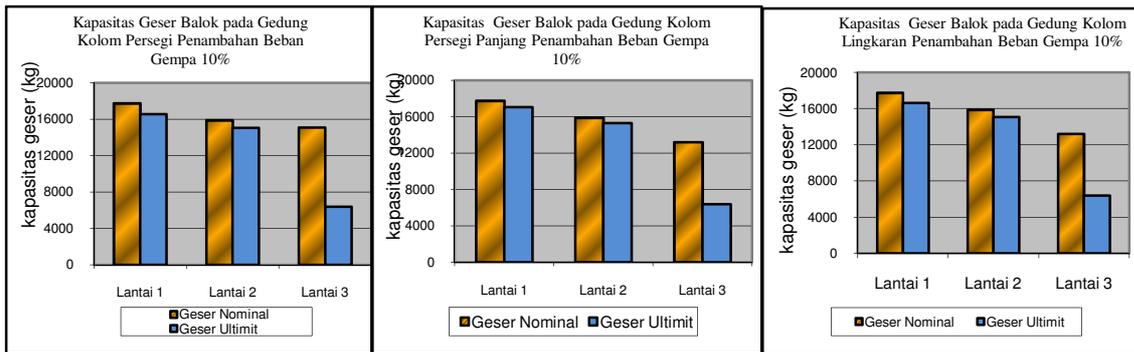
Gambar 10. Kapasitas Lentur dan Momen Balok Lantai 3



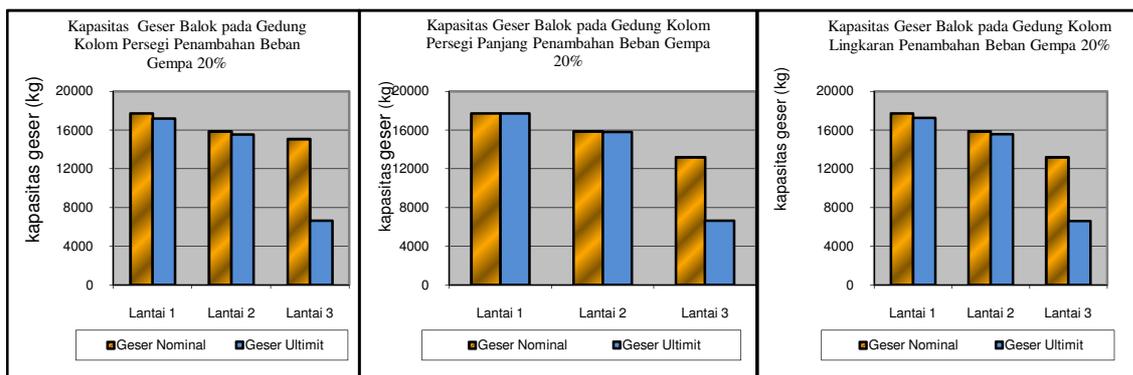
Gambar 11. Grafik Kapasitas Geser Balok Sebelum Penambahan Beban Gempa

Pemeriksaan kapasitas geser balok

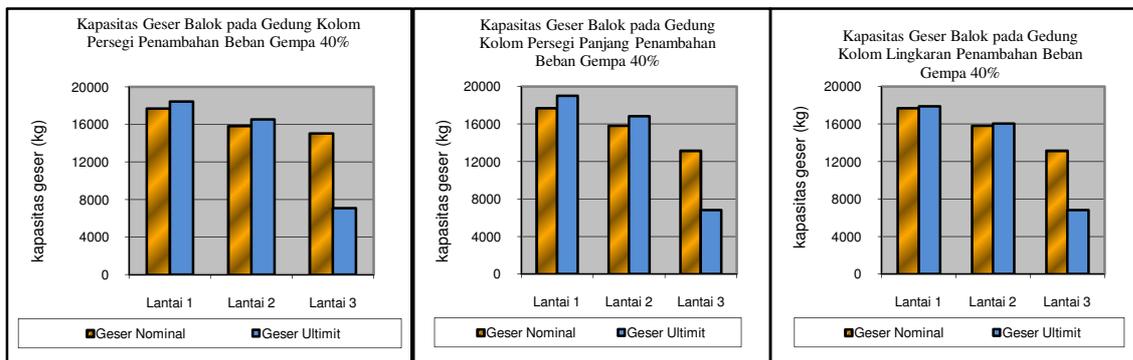
Hasil pemeriksaan kapasitas geser pada balok ditampilkan pada **Gambar 11** hingga **Gambar 14**.



Gambar 12. Kapasitas Geser Balok Pada Penambahan Beban Gempa 10%



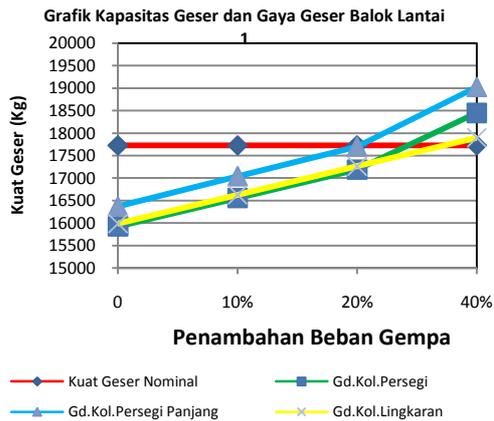
Gambar 13. Kapasitas Geser Balok Pada Penambahan Beban Gempa 20%



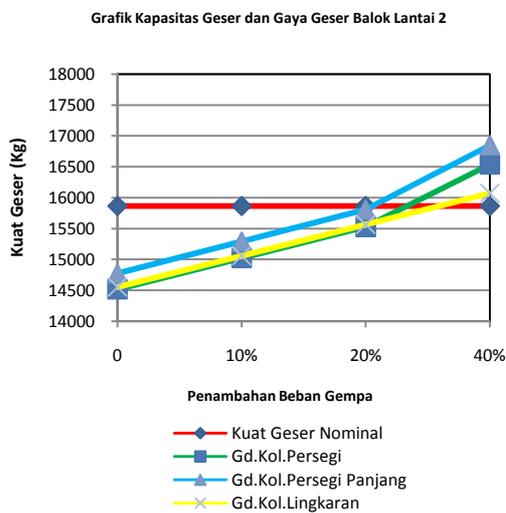
Gambar 14. Kapasitas Geser Balok Pada Penambahan Beban Gempa 40%

Sebelum adanya penambahan beban gempa, elemen balok pada semua tingkat belum mencapai kapasitas gesernya. Hal ini menunjukkan bahwa balok struktur gedung tersebut masih aman terhadap geser bila kuat gempa yang terjadi tidak melebihi kuat gempa yang telah direncanakan. Pada penambahan beban gempa sebesar 10% dan 20%, elemen balok pada semua tingkat belum mencapai kapasitas gesernya. Hal ini menunjukkan bahwa balok struktur gedung tersebut

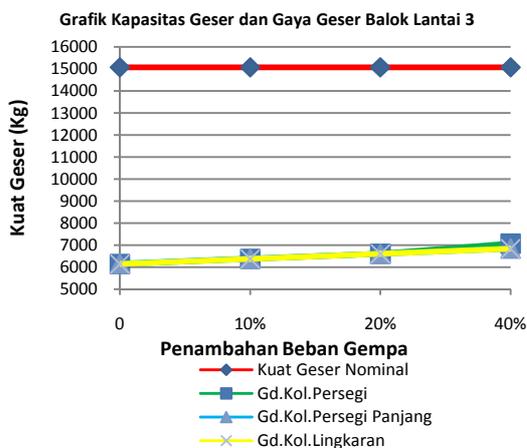
masih aman terhadap geser bila kuat gempa yang terjadi tidak melebihi kuat gempa yang telah direncanakan. Pada penambahan beban gempa sebesar 40%, balok lantai 1 dan lantai 2 pada gedung kolom persegi, gedung kolom persegi panjang, dan gedung kolom lingkaran sudah mencapai kapasitas gesernya. Namun balok lantai 3 pada gedung – gedung tersebut belum juga tercapai kapasitas gesernya.



Gambar 15. Grafik Kapasitas Geser dan Gaya Geser Balok Lantai 1



Gambar 16. Grafik Kapasitas Geser dan Gaya Geser Balok Lantai 2



Gambar 17. Grafik Kapasitas Geser dan Gaya Geser Balok Lantai 3

Perilaku struktur yang ditinjau berdasarkan pada kapasitas geser balok pada berbagai penambahan beban gempa ditampilkan pada **Gambar 15** hingga **Gambar 17**.

Dari grafik hubungan gaya geser yang terjadi pada balok dengan penambahan beban gempa, dapat diketahui bahwa balok pada gedung kolom persegi panjang lebih cepat mencapai keruntuhan geser daripada balok pada gedung kolom persegi dan lingkaran yang relatif lebih aman terhadap geser. Hal ini disebabkan gaya geser yang terjadi pada balok gedung kolom persegi panjang lebih besar dibandingkan geser yang terjadi pada gedung kolom persegi dan lingkaran. Hal yang sama juga terjadi pada balok lantai 2 dan 3 pada semua gedung. Gaya geser yang terjadi pada balok gedung kolom persegi panjang rata – rata 4% lebih besar daripada gaya geser yang bekerja pada balok gedung kolom persegi dan gedung kolom persegi panjang.

Pemeriksaan kapasitas kolom dalam menerima beban aksial

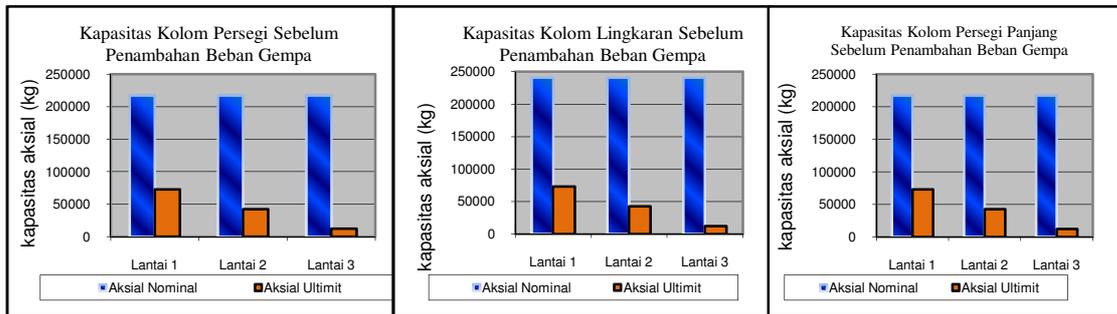
Pemeriksaan kapasitas kolom dalam menerima beban aksial ditampilkan pada **Gambar 18**. **Gambar 18** menunjukkan bahwa kolom persegi, kolom persegi panjang, dan kolom lingkaran relatif aman terhadap gaya aksial. Dapat dilihat pula bahwa kapasitas aksial kolom lingkaran lebih besar 11% dibandingkan kolom persegi dan persegi panjang. Hal ini menunjukkan bahwa kolom lingkaran lebih kuat dalam menerima beban aksial.

Pemeriksaan Kapasitas Lentur Kolom arah X dan arah Y

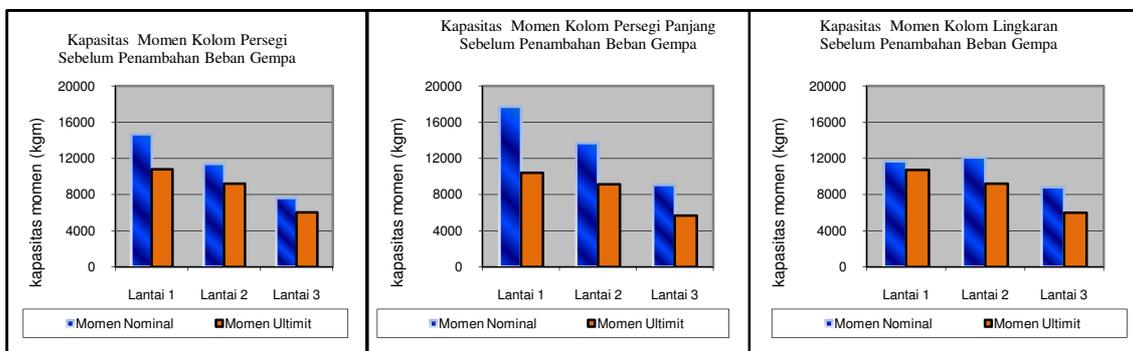
Kolom merupakan struktur yang bertugas menahan beban aksial dan momen, oleh karena itu pengaruh momen pada kapasitas kolom pun perlu diperhitungkan. Pemeriksaan kapasitas kolom terhadap kombinasi beban aksial

dan momen yang bekerja dilakukan dengan 2 arah momen yaitu M_x dan M_y .

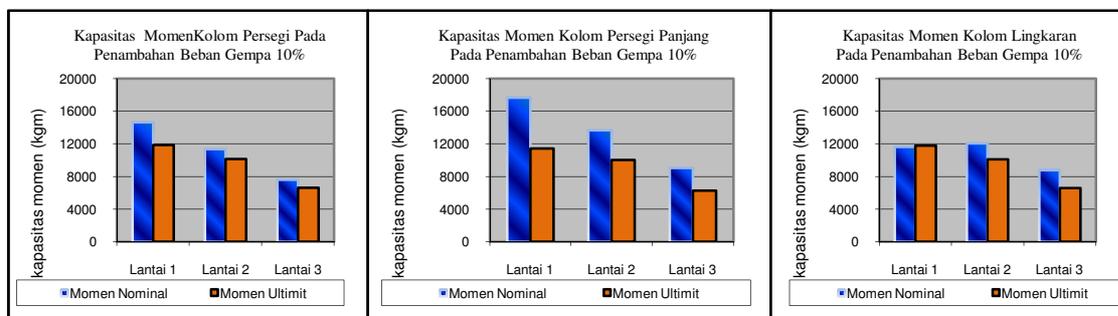
Perhitungan kapasitas lentur kolom dengan momen arah X ditampilkan pada **Gambar 19** hingga **Gambar 22**.



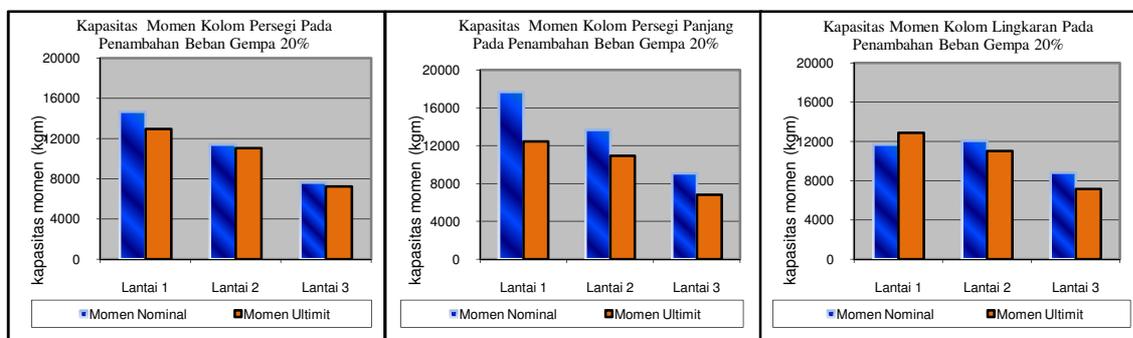
Gambar 18. Grafik Kapasitas Aksial Kolom



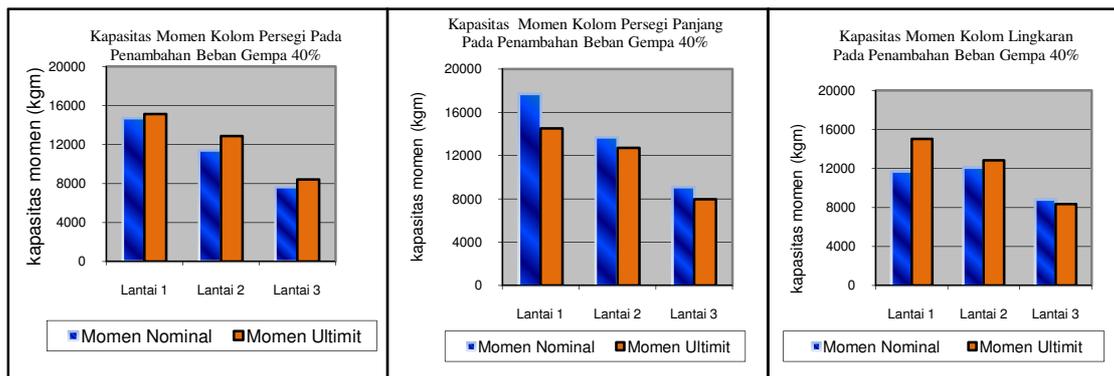
Gambar 19. Kapasitas Momen Kolom Arah X Sebelum Penambahan Gempa



Gambar 20. Kapasitas Momen Arah X Kolom Penambahan Gempa 10%



Gambar 21. Kapasitas Momen Arah X Kolom Pada Penambahan Gempa 20%



Gambar 22. Kapasitas Momen Arah X Kolom Pada Penambahan Gempa 40%

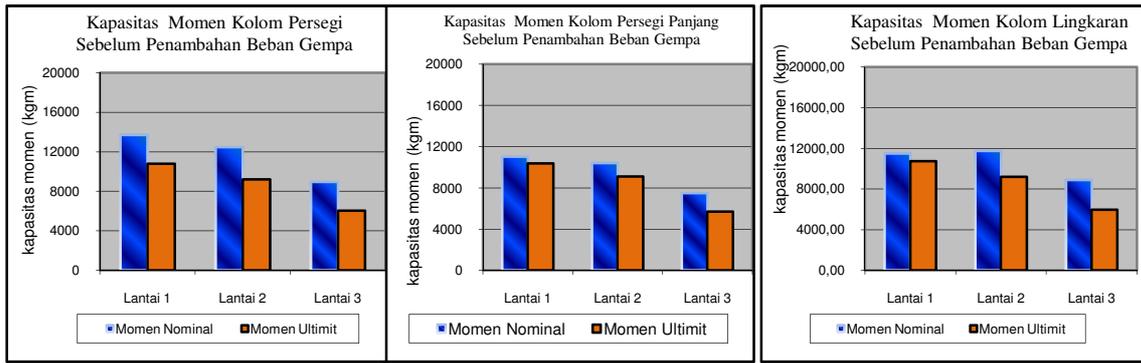
Sebelum adanya penambahan beban gempa, semua jenis kolom pada semua tingkat belum tercapai kapasitas lenturnya. Hal ini menunjukkan bahwa kolom – kolom tersebut masih aman terhadap momen dan beban aksial yang bekerja padanya. Pada penambahan beban gempa sebesar 10%, kolom lingkaran pada lantai 1 sudah tercapai kapasitasnya. Sedangkan kolom yang lain masih aman terhadap momen dan beban aksial yang bekerja padanya. Pada penambahan beban gempa sebesar 20%, kolom lingkaran pada lantai 1 sudah tercapai kapasitas lenturnya. Sedangkan kolom yang lain masih aman terhadap momen dan beban aksial yang bekerja padanya. Pada penambahan beban gempa sebesar 40%, kolom persegi pada lantai 1, 2, dan 3 sudah tercapai kapasitas lenturnya. Kolom lingkaran pada lantai 1 dan 2 juga sudah mencapai kapasitas lenturnya. Sedangkan kolom persegi panjang pada semua tingkat masih aman terhadap momen dan beban aksial yang bekerja padanya.

Dari uraian diatas, dapat dilihat bahwa kolom persegi panjang dapat lebih kuat menahan momen arah X yang bekerja padanya. Sedangkan kolom persegi dan lingkaran relatif terjadi keruntuhan lentur pada penambahan beban gempa sebesar 40%. Kapasitas lentur maksimal kolom persegi panjang sekitar 35% lebih besar daripada kapasitas lentur maksimal kolom

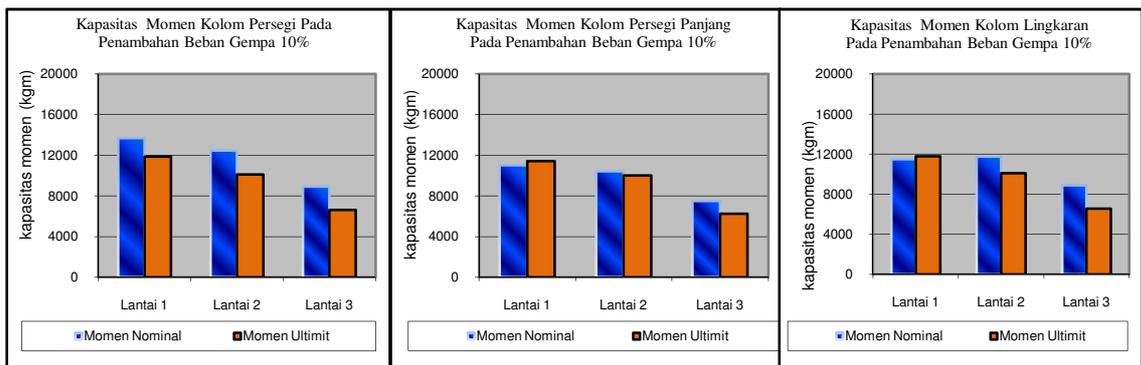
persegi dan sekitar 58% lebih besar daripada kapasitas lentur maksimal kolom lingkaran.

Pemeriksaan kapasitas kolom momen arah Y ditampilkan pada **Gambar 23** hingga **Gambar 26**.

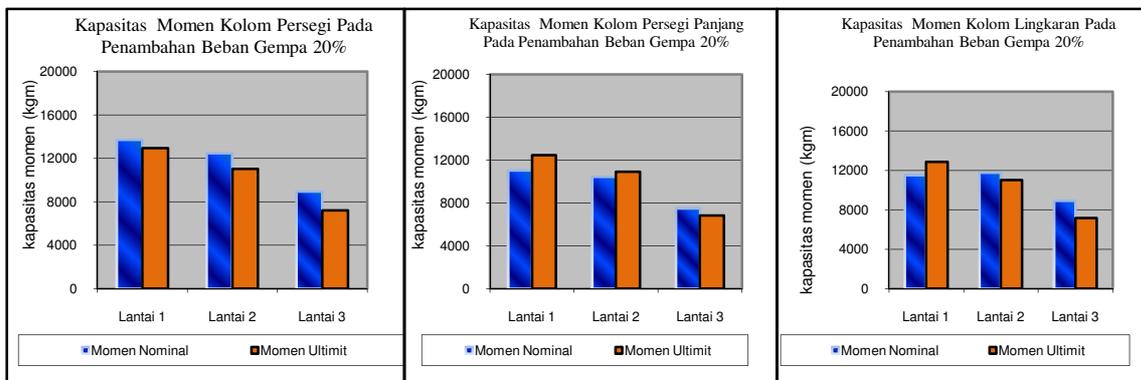
Sebelum adanya penambahan beban gempa, semua jenis kolom pada semua tingkat belum tercapai kapasitas lenturnya. Hal ini menunjukkan bahwa kolom – kolom tersebut masih aman terhadap momen dan beban aksial yang bekerja padanya. Pada penambahan beban gempa sebesar 10%, kolom lingkaran dan kolom persegi panjang pada lantai 1 sudah tercapai kapasitas lenturnya. Sedangkan kolom yang lain masih aman terhadap momen dan beban aksial yang bekerja padanya. Pada penambahan beban gempa sebesar 20%, kolom lingkaran lantai 1 sudah tercapai kapasitas lenturnya. Kolom persegi panjang pada lantai 1 dan 2 juga sudah mencapai kapasitas lenturnya. Sedangkan kolom yang lain masih aman terhadap momen dan beban aksial yang bekerja padanya. Pada penambahan beban gempa sebesar 40%, kolom persegi panjang pada lantai 1, 2, dan 3 sudah tercapai kapasitas lenturnya. Kolom lingkaran dan kolom persegi pada lantai 1 dan 2 juga sudah mencapai kapasitas lenturnya.



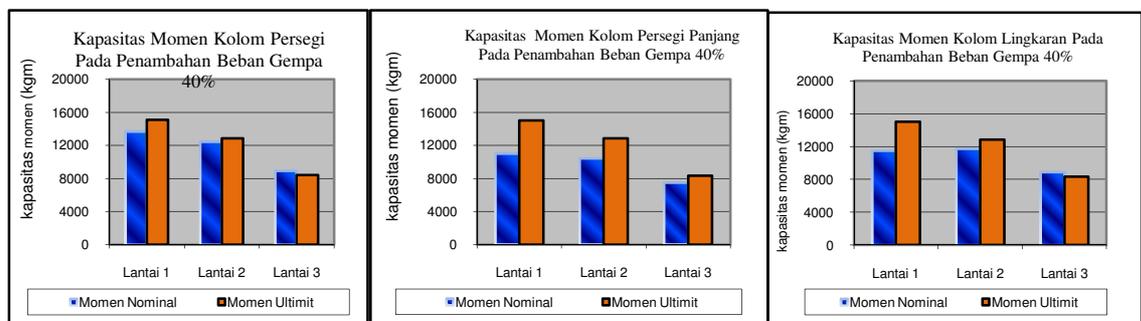
Gambar 23. Kapasitas Momen Arah Y Kolom Sebelum Penambahan Gempa



Gambar 24. Kapasitas Momen Arah Y Kolom Pada Penambahan Gempa 10%



Gambar 25. Kapasitas Momen Arah Y Kolom Pada Penambahan Gempa 20%



Gambar 26. Kapasitas Momen Arah Y Kolom Pada Penambahan Gempa 40%

Dari uraian diatas, dapat dilihat bahwa kolom persegi panjang kurang kuat menahan momen arah Y yang bekerja padanya. Sedangkan kolom persegi dan lingkaran relatif lebih kuat menahan momen arah Y.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: 1) Momen balok pada gedung dengan kolom persegi panjang rata – rata 8% lebih besar daripada momen balok pada gedung dengan kolom persegi dan gedung dengan kolom lingkaran sehingga keruntuhan lentur yang terjadi pada balok pada gedung dengan kolom persegi panjang lebih cepat terjadi. 2) Gaya geser balok pada gedung dengan kolom persegi panjang rata – rata 4% lebih besar daripada gaya geser balok pada gedung dengan kolom persegi dan gedung dengan kolom lingkaran sehingga keruntuhan geser yang terjadi pada balok gedung dengan kolom persegi panjang lebih cepat terjadi. 3) Kapasitas aksial kolom lingkaran lebih besar 11% dibandingkan kolom persegi dan persegi panjang. Hal ini menunjukkan bahwa kolom lingkaran lebih kuat dalam menahan keruntuhan akibat gaya aksial. 4) Kolom persegi panjang yang menerima momen arah X mempunyai kapasitas lentur maksimal lebih besar daripada kolom persegi dan lingkaran. Kapasitas lentur maksimal kolom persegi panjang sekitar 35% lebih besar daripada kapasitas lentur maksimal kolom persegi dan sekitar 58% lebih besar daripada kapasitas lentur maksimal kolom lingkaran sehingga kolom persegi panjang lebih kuat dalam menahan keruntuhan akibat momen arah X. 5) Kolom lingkaran dan kolom persegi yang menerima momen arah Y mempunyai kapasitas lentur maksimal lebih besar daripada kolom persegi panjang. Kapasitas lentur maksimal kolom

persegi sekitar 21% lebih besar daripada kapasitas lentur maksimal kolom persegi panjang dan kapasitas lentur maksimal kolom lingkaran sekitar 5% lebih besar daripada kapasitas lentur maksimal kolom persegi panjang.

Untuk selanjutnya akan lebih baik jika dilakukan penelitian lanjutan mengenai keruntuhan struktur gedung pada variasi model gedung atau ditinjau berdasar pengaruh ketinggian struktur gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. 2010. Kolom, Fondasi dan Balok T Beton Bertulang, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002, Jakarta.
- Busthamy, Imam. 2011. Pengujian Serta Analisis Berbagai Bentuk Kolom Beton Bertulang Terhadap Kapasitas Lentur dan Daktilitas Menahan Beban Lateral. Skripsi. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember
- H. Kusuma, Gideon, dkk. 1993. Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa. Jakarta: Erlangga
- Wang, C.K., dkk. 1994. Disain Beton Bertulang. Jakarta : Erlangga
- Krisnamurti. 2009. Metode Analisis Struktur Akibat Beban Gempa. Penerbit Jember University Press, Jember.
- Krisnamurti. 2010. Pengaruh Luas Tulangan Pada Balok dan Kolom Terhadap Mekanisme Keruntuhan Portal Beton Bertulang Akibat Gempa. Jurnal Rekayasa. Vol. 7 No.1.
- Purwono, R. dkk. 2007. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002). Jakarta: ITS press