

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan dari analisis, yang meliputi masalah umum, gaya geser dasar, simpangan, gaya-gaya dalam balok, gaya-gaya dalam dinding geser, dan tulangan dinding geser yang akan dijelaskan sebagai berikut.

6.1 Umum

Beban-beban yang bekerja pada struktur pada akhirnya akan disalurkan kedalam tanah. Untuk tujuan penyederhanaan kolom bangunan umumnya dianggap dijepit secara kaku oleh tanah dasar. Model analisis yang dipakai menjadi lebih sederhana karena gaya-gaya dalam yang bekerja pada ujung bawah kolom semuanya dianggap ditahan secara sempurna pada jepitan tanah. Namun demikian kedua anggapan tersebut tidaklah tepat. Tanah umumnya bukanlah material yang dapat menjepit secara kaku kolom struktur bangunan, sebab tanah tidak mampu menahan tegangan tarik dan akibatnya bila kolom bergoyang maka massa tanah disekitar kolom tidak dapat mengikatnya. Analisis struktur perlu memperhatikan pengaruh tanah yang mengakibatkan terjadinya rotasi pondasi.

Pada penelitian ini, kami mencoba membandingkan simpangan dan gaya-gaya dalam yang terjadi pada dinding geser kopel simetris dengan dua tinjauan peneekangan, yaitu jepit dan jepit fleksibel.

6.2 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar untuk struktur dengan dukungan jepit ($T = 0,8344$ s) adalah 1478.526 kN, dan struktur dengan dukungan jepit fleksibel ($T = 2.6405$ s) adalah 739.263 kN. Perbedaan gaya geser dasar untuk struktur dengan dukungan jepit fleksibel sebesar 50 % lebih kecil dibanding dengan struktur dengan dukungan jepit. Hal ini terjadi karena struktur relatif kaku sehingga pengaruh fleksibilitas tanah terhadap rotasi pondasi menjadi signifikan. Pada struktur dengan dukungan jepit fleksibel yang menyebabkan rotasi pondasi mempunyai waktu getar struktur lebih besar dibandingkan pada struktur dengan dukungan jepit. Sesuai dengan teori bahwa rotasi pondasi akan mempengaruhi waktu getar struktur.

6.3 Simpangan Struktur

Simpangan struktur yang akan dibahas meliputi simpangan absolut, simpangan relatif, dan simpangan antar tingkat seperti berikut ini.

6.3.1 Simpangan absolut

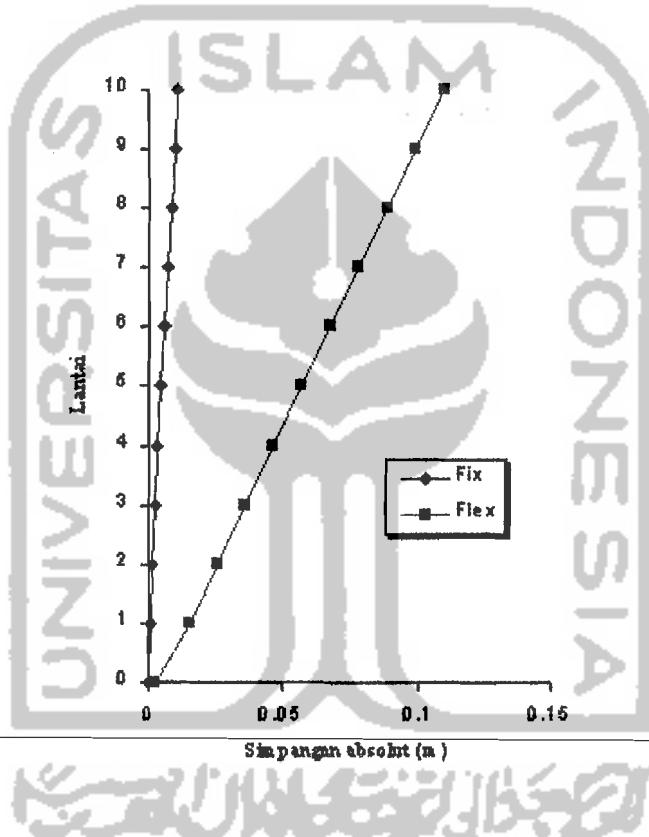
Simpangan absolut struktur dinding kopel ditunjukkan pada Tabel 6.1 dan disajikan pada Gambar 6.1.

Tabel 6.1 Simpangan absolut untuk berbagai macam tinjauan.

| 0 | 0 | 0.002504 | |
|---|----------|----------|----------|
| 1 | 5.56E-04 | 0.015497 | 2787.23 |
| 2 | 0.001375 | 0.025771 | 1874.255 |
| 3 | 0.002427 | 0.036145 | 1489.287 |
| 4 | 0.003635 | 0.046585 | 1281.568 |

Tabel 6.1 (Lanjutan)

| Lantai | Kondisi Pengekangan | | flex / fix % |
|--------|---------------------|----------|-----------------|
| | Fix | Flex | |
| 5 | 0.004933 | 0.057062 | 1156.74 |
| 6 | 0.006267 | 0.06755 | 1077.868 |
| 7 | 0.007594 | 0.07803 | 1027.522 |
| 8 | 0.008883 | 0.088489 | 996.1612 |
| 9 | 0.010117 | 0.098918 | 977.7404 |
| 10 | 0.011293 | 0.109316 | 967.9979 |

**Gambar 6.1** Grafik simpangan absolut lawan lantai struktur.

Struktur dengan asumsi dukungan jepit fleksibel pada Gambar 6.1 menunjukkan simpangan absolut yang relatif besar dibandingkan dengan simpangan absolut pada kondisi jepit. Simpangan absolut untuk struktur dengan dukungan jepit fleksibel memiliki perbedaan 2787.23 % pada lantai 1 dan mengecil ketingkat atas terhadap struktur dengan dukungan jepit. Hal ini dimungkinkan terjadi karena pada struktur dengan dukungan jepit, struktur

dianggap benar-benar dikekang penuh oleh tanah yang menjadikan kekakuan struktur lebih kecil dari kekakuan tanah ($k_s = \sim$) sehingga struktur berperilaku menurut lentur, sedangkan struktur dengan dukungan jepit fleksibel nilai simpangan absolut lebih besar dikarena tanah yang memiliki sifat fleksibel yang memungkinkan penambahan simpangan, yaitu akibat deformasi pada dukungan.

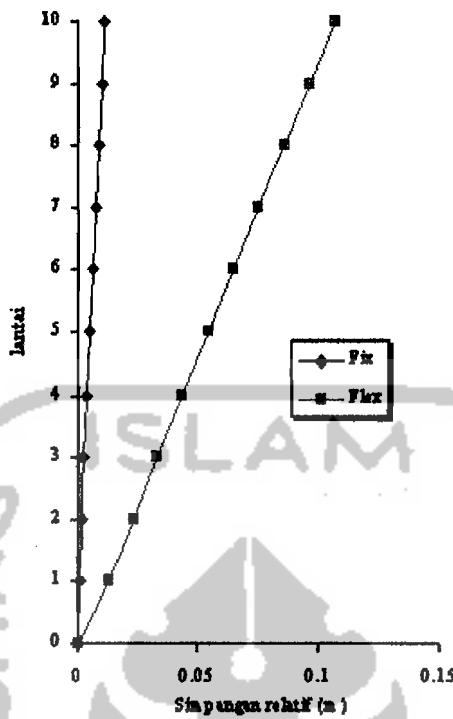
Simpangan absolut memiliki pengaruh terhadap kemungkinan terjadinya benturan antara bangunan yang berdekatan (*structural pounding*). *Structural pounding* ini dapat menyebabkan kerusakan yang fatal pada bangunan bahkan dapat menyebabkan kerusakan total, oleh karenanya *structural pounding* ini perlu diperhatikan agar dapat memaksimalkan penggunaan lahan.

6.3.1 Simpangan relatif

Simpangan relatif lantai ke- i didapat dari pengurangan simpangan absolut tiap lantai ke- i terhadap perpindahan dukungan akibat tanah ditunjukkan pada Tabel 6.1 dan disajikan pada Gambar 6.2.

Tabel 6.2 Simpangan relatif untuk berbagai macam tinjauan.

| | | | $\mu_{\text{rel}} (\%)$ |
|----|----------|----------|-------------------------|
| 1 | 5.56E-04 | 0.012993 | 2336.87 |
| 2 | 0.001375 | 0.023267 | 1692.15 |
| 3 | 0.002427 | 0.033641 | 1386.12 |
| 4 | 0.003635 | 0.044081 | 1212.68 |
| 5 | 0.004933 | 0.054558 | 1105.98 |
| 6 | 0.006267 | 0.065046 | 1037.91 |
| 7 | 0.007594 | 0.075526 | 994.548 |
| 8 | 0.008883 | 0.085985 | 967.973 |
| 9 | 0.010117 | 0.096414 | 952.99 |
| 10 | 0.011293 | 0.106812 | 945.825 |



Gambar 6.2 Grafik simpangan relatif lawan lantai struktur.

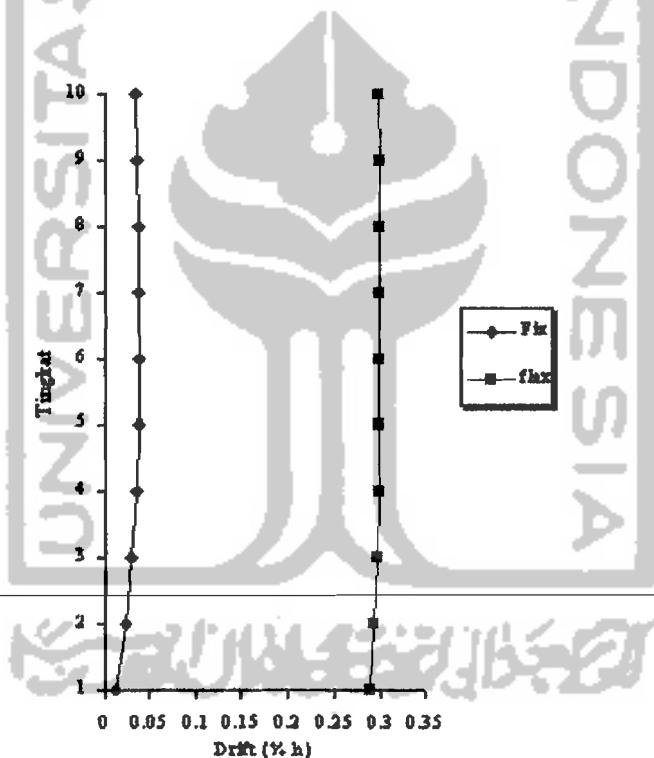
Struktur dengan dukungan jepit pada Gambar 6.2 menunjukkan bentuk simpangan relatif kantilever sehingga struktur berperilaku menurut lentur. Struktur dengan dukungan jepit fleksibel menunjukkan bentuk simpangan yang relatif linear, ini disebabkan pengekangan yang tidak penuh pada dukungan yang menjadikan kekakuan struktur lebih besar dari kekakuan dukungan.

6.3.1 Simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat adalah simpangan yang terjadi pada tiap tingkat, simpangan ini dihitung dengan cara simpangan absolut lantai atas dikurangi simpangan absolut dibawahnya. Simpangan antar tingkat yang terjadi pada masing-masing tinjauan ditunjukkan pada Tabel 6.3 dibawah ini dan disajikan pada Gambar 6.3.

Tabel 6.3 Simpangan Antar tingkat untuk berbagai macam tinjauan.

| Lantai | Simpangan antar tingkat (%) | (Drift (%) x 100) % | Fit | Fit (%) |
|--------|-----------------------------|---------------------|----------|----------|
| 0-1 | 0.000556 | 0.012993 | 0.012356 | 0.288733 |
| 1-2 | 0.000819 | 0.010274 | 0.0234 | 0.293543 |
| 2-3 | 0.001052 | 0.010374 | 0.030057 | 0.2964 |
| 3-4 | 0.001208 | 0.01044 | 0.034514 | 0.298286 |
| 4-5 | 0.001298 | 0.010477 | 0.037086 | 0.299343 |
| 5-6 | 0.001334 | 0.010488 | 0.038114 | 0.299657 |
| 6-7 | 0.001327 | 0.01048 | 0.037914 | 0.299429 |
| 7-8 | 0.001289 | 0.010459 | 0.036829 | 0.298829 |
| 8-9 | 0.001234 | 0.010429 | 0.035257 | 0.297971 |
| 9-10 | 0.001176 | 0.010398 | 0.0336 | 0.297086 |

**Gambar 6.3 Grafik prosentase simpangan antar tingkat lawan tinggi tingkat.**

Prosentase simpangan antar tingkat dibandingkan tinggi lantai yang terjadi masih memenuhi persyaratan pada Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung (PPTGIUG, 1983) yakni sebesar 0,5 %.

Simpangan antar tingkat struktur untuk dukungan jepit fleksibel memiliki perbedaan nilai yang besar jika dibandingkan dengan dukungan jepit. Pada struktur dengan dukungan jepit fleksibel, simpangan tiap tingkat struktur yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh defleksi lentur seperti pada dukungan jepit, tetapi juga dipengaruhi oleh defleksi geser dan rotasi pondasi akibat gaya lateral gempa.

6.4 Gaya-Gaya Dalam Balok Penghubung (*Coupling Beam*)

Pada penelitian ini bertujuan membandingkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok penghubung hasil dari analisis.

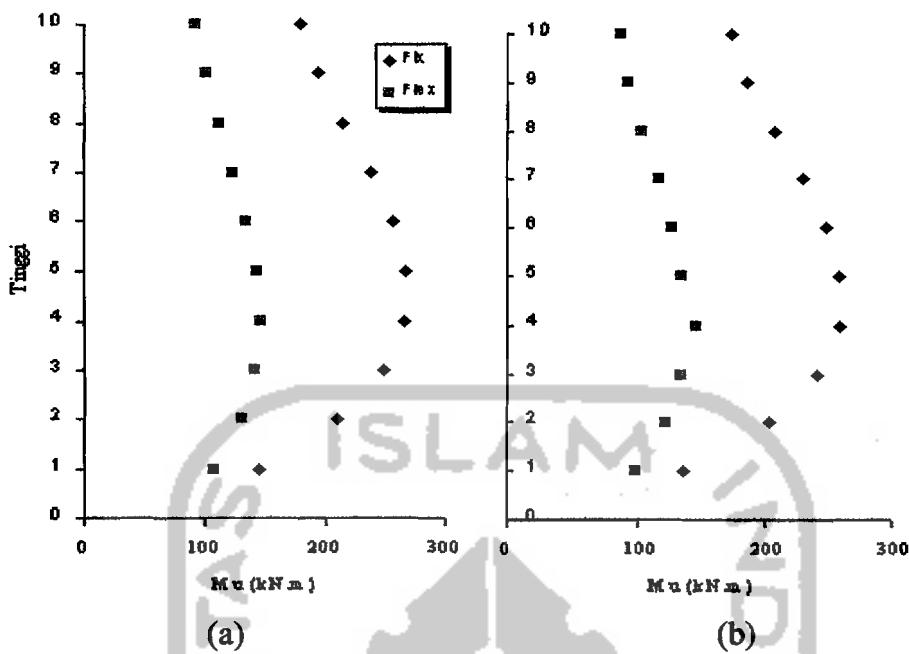
6.4.1 Momen rencana balok penghubung

Momen rencana yang digunakan dalam desain balok penghubung adalah momen maksimum hasil dari kombinasi pembebanan pada persamaan (3.14).

Hasil keseluruhan momen rencana balok penghubung dapat dilihat pada Tabel 6.4 dan disajikan pada Gambar 6.4.

Tabel 6.4 Momen rencana balok penghubung.

| Lantai | kondisi pengekangan | | | | flex/fix | |
|--------|---------------------|---------|---------|---------|----------|--------|
| | Fix | | Flex | | M | M |
| | M^+ | M^- | M^+ | M^- | | |
| 1 | 144.018 | 135.975 | 106.722 | 98.763 | 74.103 | 72.633 |
| 2 | 210.357 | 202.419 | 129.885 | 121.968 | 61.745 | 60.255 |
| 3 | 249.102 | 241.206 | 142.034 | 134.558 | 57.018 | 55.786 |
| 4 | 266.396 | 258.521 | 145.541 | 145.541 | 54.633 | 56.298 |
| 5 | 267.257 | 259.403 | 142.412 | 134.558 | 53.287 | 51.872 |
| 6 | 256.127 | 248.273 | 134.442 | 126.588 | 52.490 | 50.987 |
| 7 | 237.174 | 229.320 | 123.428 | 115.574 | 52.041 | 50.399 |
| 8 | 214.746 | 206.913 | 111.300 | 103.467 | 51.829 | 50.005 |
| 9 | 193.809 | 185.976 | 100.370 | 92.558 | 51.788 | 49.769 |
| 10 | 179.204 | 173.639 | 92.337 | 86.772 | 51.526 | 49.973 |



Gambar 6.4 Grafik perbandingan momen rencana balok tiap tingkat struktur
 (a) Momen negatif, dan (b) Momen positif.

Momen rencana balok penghubung dinding geser pada kedua tinjauan kecil pada tingkat bawah, membesar sampai pada tingkat tengah, dan cenderung mengecil sampai pada tingkat atas. Perbandingan momen rencana balok penghubung struktur dengan dukungan jepit fleksibel lebih kecil dibanding dukungan jepit. Hal ini disebabkan besarnya momen balok dipengaruhi oleh gaya horisontal yang terjadi. Sesuai dengan teori bahwa makin besar gaya horisontal, pada ujung-ujung balok akan timbul momen yang lebih besar pula.

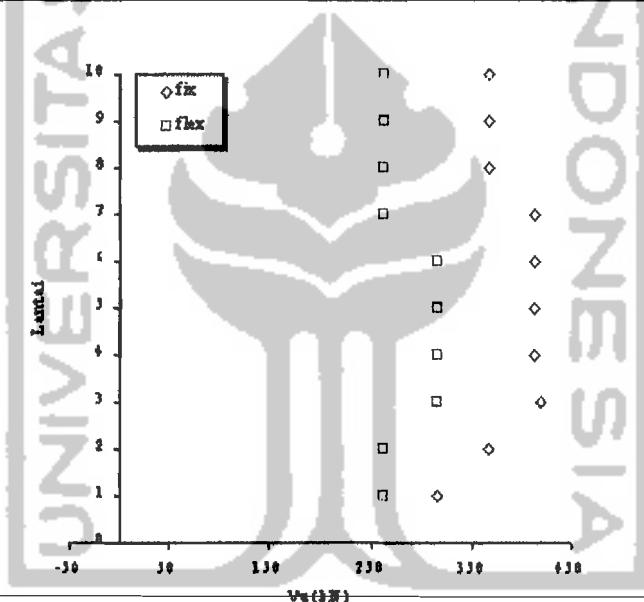
6.4.2 Gaya geser rencana balok penghubung

Perbandingan gaya geser rencana yang digunakan untuk rencana desain balok penghubung dinding geser adalah menurut persamaan (3.15).

Hasil keseluruhan gaya geser balok penghubung dapat dilihat pada Tabel 6.5 dan disajikan pada Gambar 6.5.

Tabel 6.5 Gaya geser rencana balok penghubung pada berbagai macam tinjauan.

| Lantai | Kondisi Pengekangan | | flex / fix % |
|--------|---------------------|---------|-----------------|
| | Fix | Flex | |
| 1 | 314.213 | 261.577 | 83.2483 |
| 2 | 366.737 | 261.577 | 71.3255 |
| 3 | 418.418 | 314.213 | 75.0955 |
| 4 | 412.880 | 314.213 | 76.1027 |
| 5 | 412.880 | 314.213 | 76.1027 |
| 6 | 412.880 | 314.213 | 76.1027 |
| 7 | 412.880 | 261.577 | 63.3542 |
| 8 | 366.737 | 261.577 | 71.3255 |
| 9 | 366.737 | 261.577 | 71.3255 |
| 10 | 366.737 | 261.577 | 71.3255 |

**Gambar 6.5** Grafik perbandingan gaya geser rencana balok penghubung.

Perbandingan gaya geser rencana balok penghubung dinding geser diatas menunjukkan bahwa, pada struktur dengan dukungan jepit fleksibel memiliki gaya geser rencana relatif lebih kecil dibanding balok penghubung pada struktur dengan dukungan jepit. Hal ini disebabkan gaya geser balok penghubung dipengaruhi oleh momen kapasitas balok pada tumpuan. Karena bentang balok penghubung relatif pendek maka gaya geser yang terjadi pada masing-masing ujung balok akan besar.

6.5 Gaya Dalam Dinding Geser Kopel

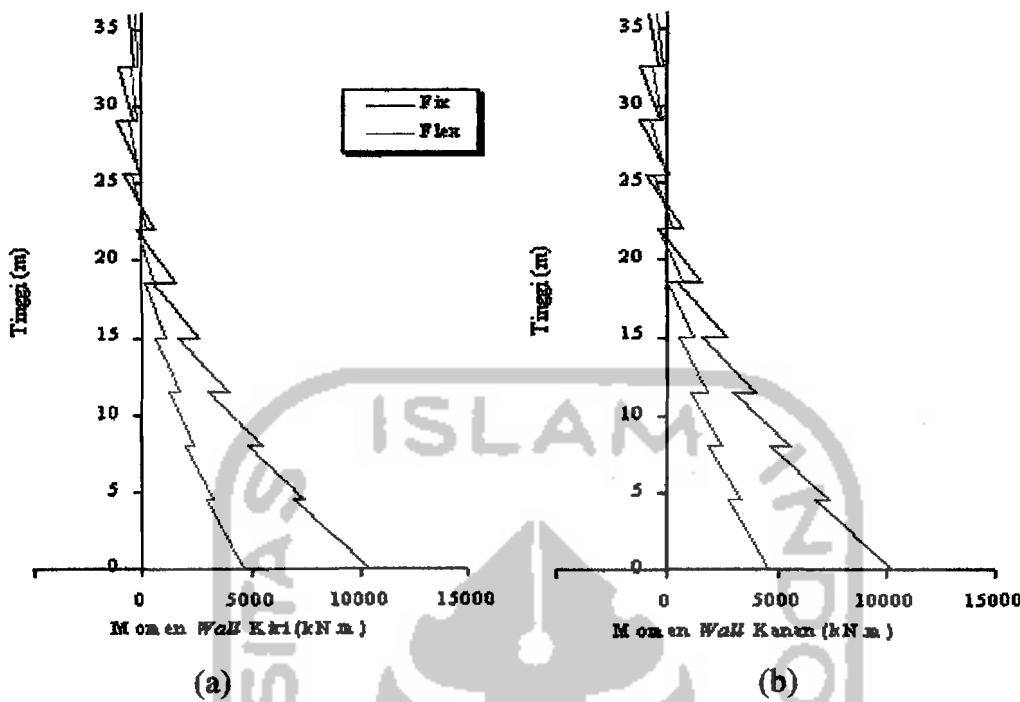
Pada penelitian ini bertujuan membandingkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada dinding geser kopel hasil dari analisis

6.5.1 Momen dinding geser

Momen rencana dinding geser kopel didapat dari hasil kombinasi pembebanan menurut persamaan (3.22). Hasil kombinasi momen rencana dinding geser dapat dilihat pada Tabel 6.6 dan disajikan pada Gambar 6.6.

Tabel 6.6 Momen maksimum dinding geser pada kedua tinjauan.

| Tingkat | Tinggi | Momen (<i>fix</i>) | | Momen (<i>flex</i>) | |
|---------|--------|----------------------|------------|-----------------------|------------|
| | | Wall kiri | Wall kanan | Wall kiri | Wall kanan |
| 1 | 0.0 | -10386.51 | -10287.47 | -4630.32 | -4624.06 |
| | 4.5 | -6931.67 | -6756.28 | -2955.11 | -2806.26 |
| 2 | 4.5 | -7393.46 | -7414.46 | -3280.58 | -3326.93 |
| | 8.0 | -4815.80 | -4687.01 | -2036.60 | -1918.37 |
| 3 | 8.0 | -5543.21 | -5610.73 | -2456.98 | -2534.99 |
| | 11.5 | -3093.80 | -2983.47 | -1279.90 | -1173.74 |
| 4 | 11.5 | -3976.31 | -4062.22 | -1750.38 | -1840.47 |
| | 15.0 | -1696.66 | -1593.57 | -659.09 | -557.63 |
| 5 | 15.0 | -2648.37 | -2741.51 | -1144.08 | -1238.85 |
| | 18.5 | -585.20 | -484.71 | -159.29 | -63.67 |
| 6 | 18.5 | -1540.42 | -1636.16 | -633.52 | -729.91 |
| | 22.0 | 257.57 | 357.59 | 216.34 | 316.09 |
| 7 | 22.0 | -653.13 | -749.33 | -222.98 | -319.43 |
| | 25.5 | 829.89 | 931.19 | 469.09 | 570.27 |
| 8 | 25.5 | -4.99 | -99.91 | 75.13 | -19.90 |
| | 29.0 | 1112.51 | 1218.01 | 583.73 | 689.21 |
| 9 | 29.0 | 367.27 | 276.59 | 239.63 | 148.91 |
| | 32.5 | 1067.34 | 1183.86 | 537.85 | 654.36 |
| 10 | 32.5 | 405.85 | 326.19 | 238.75 | 159.10 |
| | 36.0 | 633.47 | 777.92 | 296.52 | 440.98 |



Gambar 6.6 Grafik Perbandingan momen dinding geser tiap tingkat;
(a) dinding geser kiri,dan (b) dinding geser kanan.

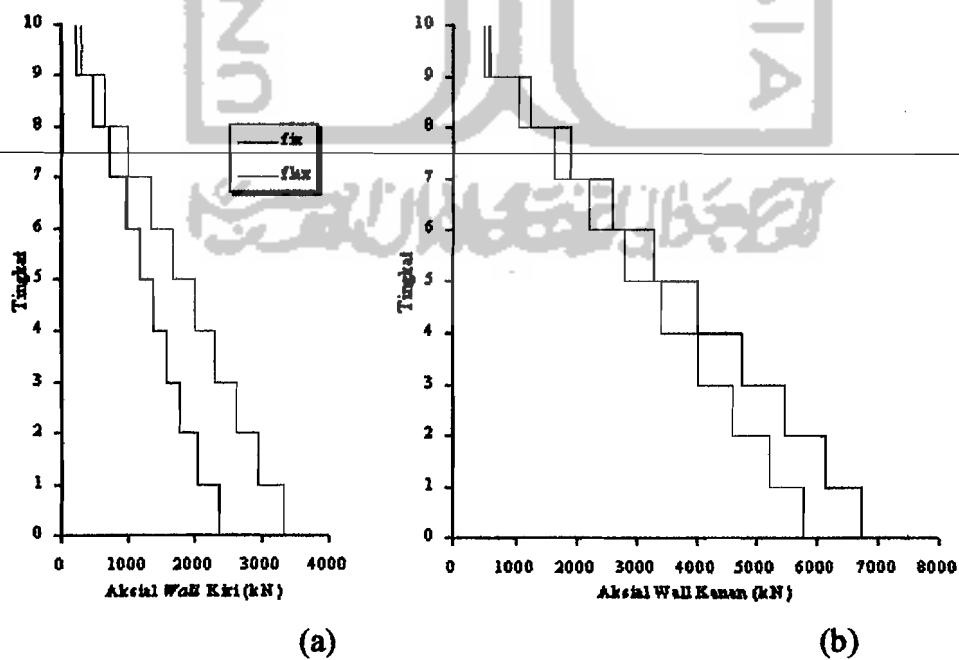
Perbandingan momen dinding geser diatas menunjukkan bahwa, pada struktur dengan dukungan jepit, momen yang terjadi lebih besar dibanding dengan momen yang terjadi pada struktur dengan dukungan jepit fleksibel. Hal ini terjadi karena gaya horisontal untuk tiap lantai struktur dengan dukungan jepit fleksibel lebih kecil daripada dukungan jepit. Sesuai dengan hipotesa awal bahwa semakin kaku suatu dukungan maka momen yang terjadi pada dinding geser akan semakin besar.

6.5.2 Gaya aksial dinding geser

Hasil kombinasi gaya aksial rencana dinding geser dapat dilihat pada Tabel 6.7 dan disajikan pada Gambar 6.7.

Tabel 6.7 Gaya aksial rencana dinding geser kopel.

| Tingkat | Tinggi | Gaya Aksial (fix) | | Gaya Aksial (flex) | |
|---------|--------|-------------------|------------|--------------------|------------|
| | | Wall kiri | Wall kanan | Wall kiri | Wall kanan |
| 1 | 0.0 | 2362.605 | 6722.457 | 3317.244 | 5767.818 |
| | 4.5 | 2362.605 | 6722.457 | 3317.244 | 5767.818 |
| 2 | 4.5 | 2041.392 | 6121.251 | 2961.801 | 5200.842 |
| | 8.0 | 2041.392 | 6121.251 | 2961.801 | 5200.842 |
| 3 | 8.0 | 1786.560 | 5453.643 | 2630.204 | 4610.000 |
| | 11.5 | 1786.560 | 5453.643 | 2630.204 | 4610.000 |
| 4 | 11.5 | 1570.515 | 4747.290 | 2311.164 | 4006.641 |
| | 15.0 | 1570.515 | 4747.290 | 2311.164 | 4006.641 |
| 5 | 15.0 | 1371.764 | 4023.623 | 1995.727 | 3399.661 |
| | 18.5 | 1371.764 | 4023.623 | 1995.727 | 3399.661 |
| 6 | 18.5 | 1173.874 | 3299.074 | 1677.065 | 2795.882 |
| | 22.0 | 1173.874 | 3299.074 | 1677.065 | 2795.882 |
| 7 | 22.0 | 964.864 | 2585.665 | 1350.214 | 2200.315 |
| | 25.5 | 964.864 | 2585.665 | 1350.214 | 2200.315 |
| 8 | 25.5 | 736.891 | 1891.198 | 1012.012 | 1616.077 |
| | 29.0 | 736.891 | 1891.198 | 1012.012 | 1616.077 |
| 9 | 29.0 | 486.532 | 1219.159 | 661.357 | 1044.334 |
| | 32.5 | 486.532 | 1219.159 | 661.357 | 1044.334 |
| 10 | 32.5 | 215.215 | 568.057 | 299.761 | 483.511 |
| | 36.0 | 215.215 | 568.057 | 299.761 | 483.511 |

**Gambar 6.7 Grafik Perbandingan gaya aksial rencana struktur dinding geser;**
(a) dinding geser kiri,dan (b) dinding geser kanan.

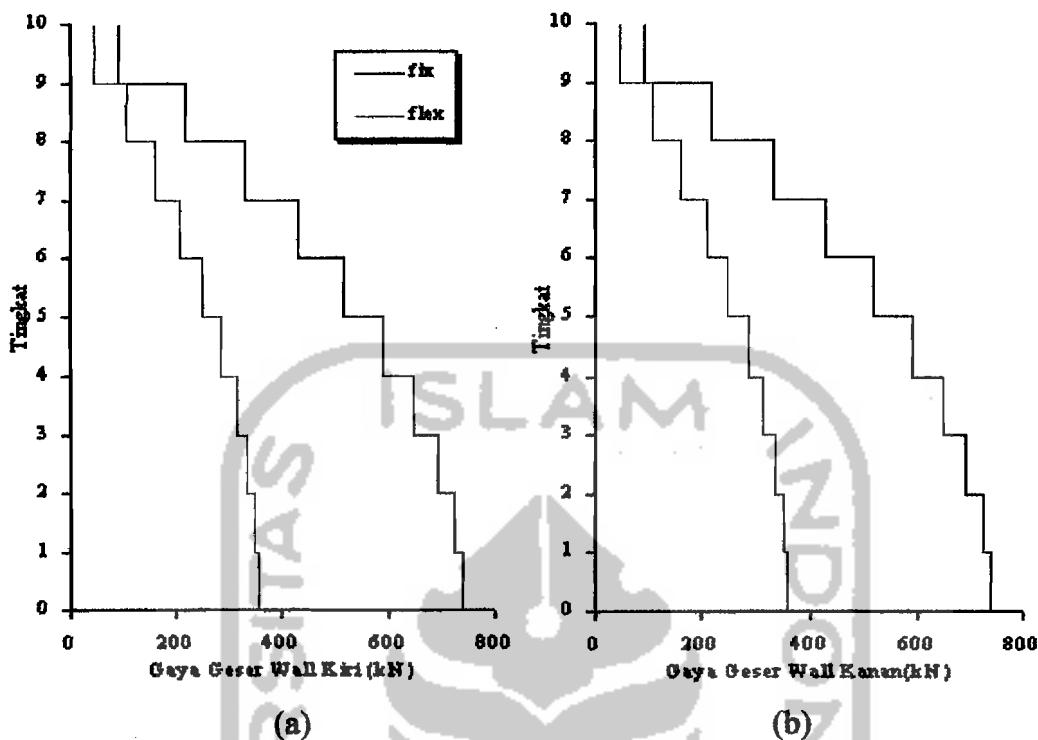
Gaya aksial dinding geser kiri yang terjadi lebih kecil dibanding dinding geser kanan untuk masing masing tinjauan. Hal ini disebabkan pengaruh gaya horizontal yang mengakibatkan gaya tarik vertikal pada dinding geser kiri, sehingga akan mengurangi gaya aksial akibat beban tetap, dan akibat yang diterima dinding geser kanan adalah penambahan gaya aksial. Untuk perencanaan diambil gaya aksial yang terbesar dari kedua dinding geser.

6.5.3 Gaya geser dinding geser

Perbandingan gaya geser rencana yang digunakan untuk desain dinding geser dapat dilihat pada Tabel 6.8 dan disajikan pada Gambar 6.8.

Tabel 6.8 Gaya geser rencana dinding geser kopel.

| Tingkat | Tinggi | Gaya Geser (fix) | | Gaya Geser (flex) | |
|---------|--------|------------------|------------|-------------------|------------|
| | | Wall kiri | Wall kanan | Wall kiri | Wall kanan |
| 1 | 0.0 | 739.26 | 739.26 | 359.07 | 359.07 |
| | 4.5 | 739.26 | 739.26 | 359.07 | 359.07 |
| 2 | 4.5 | 721.78 | 721.78 | 350.58 | 350.58 |
| | 8.0 | 721.78 | 721.78 | 350.58 | 350.58 |
| 3 | 8.0 | 690.70 | 690.70 | 335.48 | 335.48 |
| | 11.5 | 690.70 | 690.70 | 335.48 | 335.48 |
| 4 | 11.5 | 646.03 | 646.03 | 313.78 | 313.78 |
| | 15.0 | 646.03 | 646.03 | 313.78 | 313.78 |
| 5 | 15.0 | 587.75 | 587.75 | 285.48 | 285.48 |
| | 18.5 | 587.75 | 587.75 | 285.48 | 285.48 |
| 6 | 18.5 | 515.88 | 515.88 | 250.57 | 250.57 |
| | 22.0 | 515.88 | 515.88 | 250.57 | 250.57 |
| 7 | 22.0 | 430.41 | 430.41 | 209.06 | 209.06 |
| | 25.5 | 430.41 | 430.41 | 209.06 | 209.06 |
| 8 | 25.5 | 331.35 | 331.35 | 160.94 | 160.94 |
| | 29.0 | 331.35 | 331.35 | 160.94 | 160.94 |
| 9 | 29.0 | 218.69 | 218.69 | 106.22 | 106.22 |
| | 32.5 | 218.69 | 218.69 | 106.22 | 106.22 |
| 10 | 32.5 | 92.43 | 92.43 | 44.89 | 44.89 |
| | 36.0 | 92.43 | 92.43 | 44.89 | 44.89 |



Gambar 6.8 Grafik Perbandingan gaya geser dinding geser tiap tingkat struktur;(a) dinding geser kiri,dan (b) dinding geser kanan.

Tampak pada gambar diatas bahwa gaya geser struktur dinding geser dengan dukungan jepit fleksibel lebih kecil dibanding struktur dengan dukungan jepit. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan waktu getar alami struktur yang mana semakin besar waktu getar alami terebut maka akan semakin kecil koefisien gempa dasar.

6.6 Tulangan Dinding Geser

Penulangan pada dinding geser terdiri dari penulangan lentur dan penulangan geser.

Rekapitulasi penulangan dinding geser dapat dilihat pada Tabel 6.9.

Tabel 6.9 Rekapitulasi penulangan dinding geser pada kedua tinjauan dukungan.

| Tingkat | Boundary element | | | | Badan dinding geser | | | |
|---------|------------------|-------|----------------|---------|---------------------------|---------|-------------------------|---------|
| | Tulangan lentur | | Tulangan geser | | Tulangan geser horizontal | | Tulangan geser vertikal | |
| | Fix | flex | fix | flex | fix | Flex | fix | flex |
| 1 | 14D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-400 | D16-500 | D16-400 | D16-500 |
| 2 | 14D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 3 | 14D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 4 | 12D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 5 | 12D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 6 | 12D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 7 | 12D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 8 | 12D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 9 | 12D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |
| 10 | 12D22 | 12D22 | D10-175 | D10-175 | D16-500 | D16-500 | D16-500 | D16-500 |

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perbedaan untuk kedua tinjauan dukungan hanya terjadi pada jumlah tulangan lentur *boundary element* yaitu untuk tingkat satu, dua, dan tiga sedangkan untuk tulangan geser menunjukkan perbedaan pada tingkat pertama saja hal ini disebabkan rasio penulangan geser untuk tingkat yang lain masih lebih kecil dari rasio penulangan yang disyaratkan.