

BAB VI

PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan hasil dari analisis struktur yang meliputi identifikasi letak sendi plastis pada balok struktur yang menggunakan isolasi dasar berupa *rubber bearing* dan struktur *non base isolation*. Pada bab ini juga akan dibahas hasil dari pada desain struktur yang meliputi desain balok dan kolom dan pertemuan balok dan kolom (*joint*).

6.1. Identifikasi lokasi sendi plastis pada balok

Sendi plastis pada balok akan terjadi bila kapasitas elastis telah terlampaui atau pada lokasi momen lentur maksimum yang terjadi pada balok. Kapasitas plastis pada balok beton bertulang akan tercapai ketika beton pada daerah tarik telah mengalami keretakan dan tulangan tarik mengalami leleh.

Perletakan sendi plastis pada balok akibat momen yang diderita oleh balok tersebut tergantung jenis dominasi beban yang bekerja pada balok tersebut. Pada balok yang menerima momen akibat beban gempa relatif lebih besar dibandingkan beban gravitasi, memiliki kemungkinan terjadinya sendi plastis akibat momen negatif maupun akibat momen positif pada jarak sejauh $2h$ ke arah tengah bentang. Sebaliknya pada balok yang menerima beban gravitasi relatif lebih besar daripada beban gempa, memiliki kemungkinan terjadi sendi plastis akibat momen negatif pada jarak sejauh $2h$ dari tepi balok, namun sendi plastis akibat momen positif diluar jarak $2h$ ke arah tengah bentang.

Kedua kondisi di atas dapat saja berubah dengan penambahan *base isolation* berupa *rubber bearing*, yang mempunyai fungsi utama untuk meredam getaran struktur akibat gempa yang menimpa struktur tersebut (pemencar energi/dissipasi energi). Dengan demikian kemungkinan sendi plastis akan terjadi diluar daerah $2h$ akibat pergeseran dominasi beban yang bekerja sehingga memerlukan peninjauan tersendiri, seperti terlihat pada Tabel 6.1 dan Tabel 6.2.

Tabel 6.1 Letak sendi plastis pada balok dari tepi balok dengan kombinasi

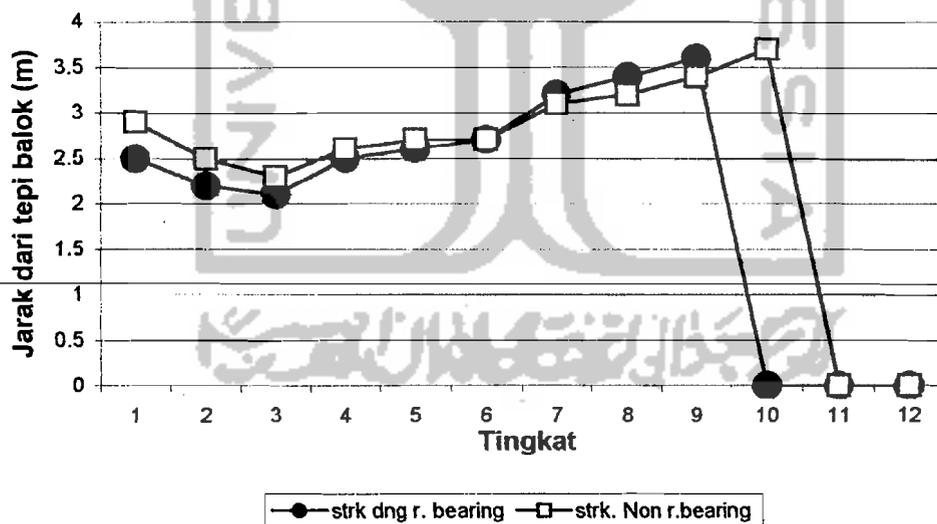
$$\text{momen } M_u = 0.9(M_D + M_E)$$

Kombinasi	0.9 (MD+ME)			
	Strk dng. R. bearing		Strk. Non r. bearing	
Lantai	Lokasi (m)	Momen (kNm)	Lokasi (m)	Momen (kNm)
1	2.5	144.927	2.9	120.277
2	2.2	153.022	2.5	139.183
3	2.1	162.352	2.3	147.612
4	2.5	135.441	2.6	129.260
5	2.6	130.360	2.7	127.907
6	2.7	126.265	2.7	127.659
7	3.2	102.104	3.1	105.496
8	3.4	97.366	3.2	102.243
9	3.6	92.402	3.4	97.226
10	0	-90.609	3.7	91.487
11	0	-117.555	0	-100.409
12	0	-62.938	0	-51.896

Tabel 6.2 Letak sendi plastis pada balok dari tepi balok dengan kombinasi

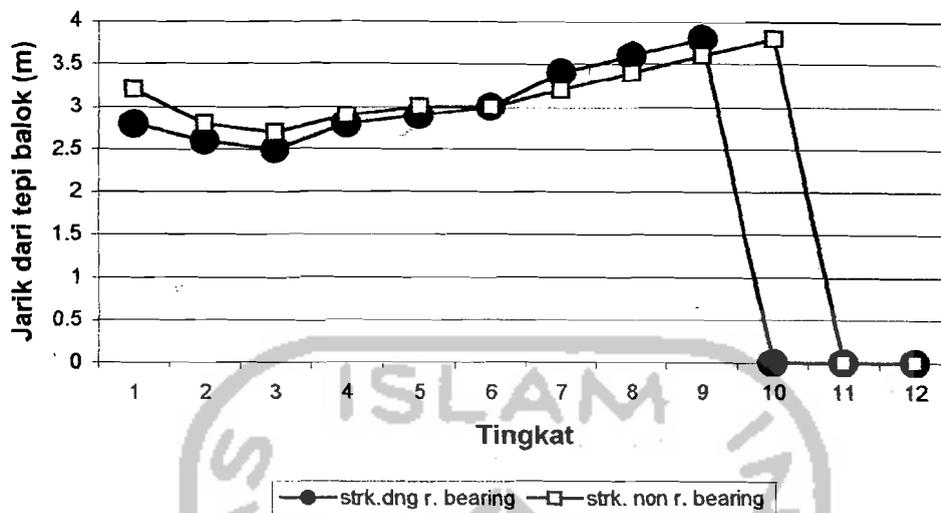
$$\text{momen } M_u = 1.05(M_D + M_{Lr} + M_E)$$

Kombinasi	1.05 (MD+MLr+ME)			
	Strk dng. R. bearing		Strk. Non r. bearing	
	Lokasi (m)	Momen (kNm)	Lokasi (m)	Momen (kNm)
1	2.8	182.0502	3.2	155.2179
2	2.6	185.7927	2.8	172.9548
3	2.5	195.6913	2.7	181.1751
4	2.8	168.5679	2.9	162.5878
5	2.9	163.4114	3	161.0435
6	3	159.7681	3	161.1126
7	3.4	135.5618	3.2	138.4687
8	3.6	130.851	3.4	135.5247
9	3.8	126.1916	3.6	130.8435
10	0	-143.766	3.8	125.4276
11	0	-175.037	0	-155.031
12	0	-89.123	0	-76.2389



Gambar 6.1 Diagram letak sendi plastis pada balok tepi kiri dengan

$$\text{kombinasi momen } M_u = 0.9(M_D + M_E)$$



Gambar 6.2 Diagram letak sendi plastis pada balok tepi kiri dengan kombinasi momen $M_u = 1.05(M_D + M_{Lr} + M_E)$

Dari grafik letak sendi plastis balok tepi kiri pada tiap kombinasi pembebanan gempa, terlihat bahwa kemungkinan terjadinya sendi plastis terjadi pada daerah $2h$ dari tepi balok pada lantai 10, 11 dan 12 untuk struktur yang menggunakan *base isolation*, sedang untuk lantai-lantai dibawahnya relatif konstan pada jarak yang relatif sama sesuai dengan keragaman kekakuan tingkat karena dimensi balok dan kolom yang sama, kecuali pada lantai 1, 2 dan 3 yang posisi sendi plastisnya mendekati daerah $2h$ karena pengaruh pemasangan *base isolation*. Sedangkan untuk struktur *non-base isolation* kemungkinan letak sendi plastis berada dalam jarak $2h$ dari tepi balok terjadi pada lantai 11 dan 12, sedangkan untuk lantai-lantai dibawahnya posisinya hampir sama, yaitu bergerak menjauh dari daerah yang direncanakan ($>2h$). Dari kondisi diatas dapat diketahui pengaruh daripada pemasangan *base isolation* berupa *rubber bearing* pada

struktur yang bertingkat tinggi tahan gempa. Selain daripada itu letak sendi plastis dapat pula ditentukan berdasarkan selisih momen terkecil antara momen balok dengan momen layan tulangan balok, hal ini dikarenakan batas layan momen balok akan tercapai lebih dahulu dibandingkan pada lokasi yang memiliki selisih momen yang lebih besar, keadaan ini memungkinkan terjadinya sendi plastis diluar daerah $2h$ terjadi.

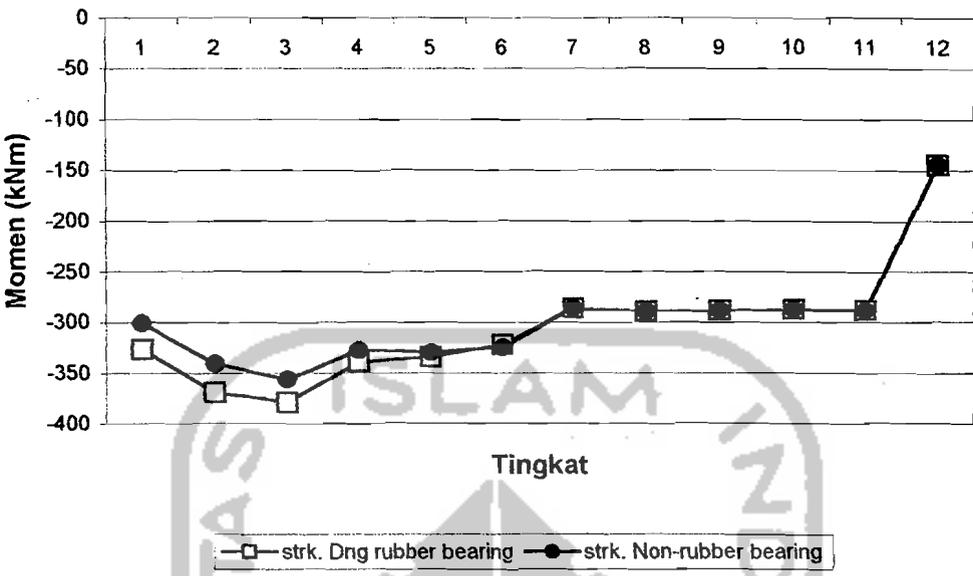
Dengan adanya kemungkinan terjadinya sendi plastis diluar daerah $2h$, maka diperlukan suatu perlakuan khusus pada desain sengkang geser balok agar dapat menahan geser akibat momen lentur yang terjadi.

6.2. Hasil Desain Struktur

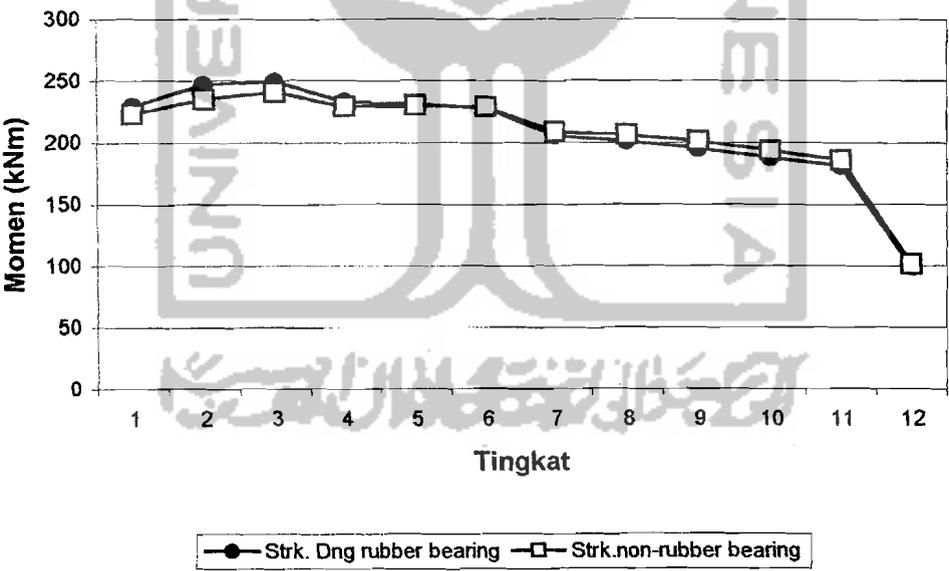
Pada sub bab ini akan diuraikan hasil desain struktur yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan analisis struktur, yang meliputi desain balok, kolom dan tulangan pada pertemuan balok dan kolom (*joint*).

6.2.1 Desain Balok

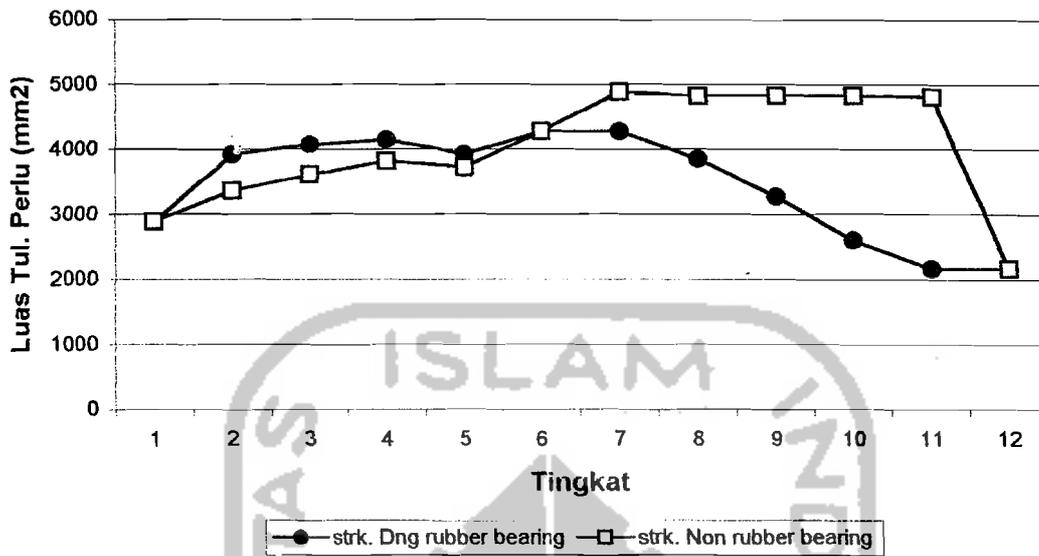
Desain balok dilakukan berdasarkan momen rencana balok yang didapat dari hasil analisis struktur dengan menggunakan program bantu komputer. Momen yang didapat dari analisis tersebut kemudian dikombinasikan dengan menggunakan faktor beban sesuai dengan SK SNI T-15-1993-03. Setelah dilakukan kombinasi momen diambil momen maksimum yang merupakan momen ultimit dalam desain kapasitas lentur balok. Momen rencana balok dan luas tulangan perlu balok ditunjukkan pada Gambar 6.3 sampai Gambar 6.8.



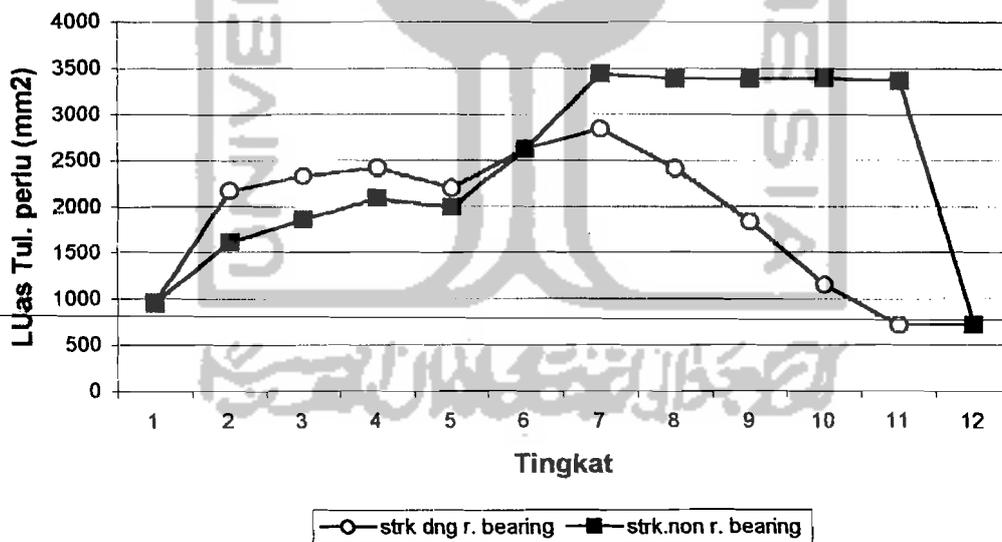
Gambar 6.3 Grafik momen ultimit tumpuan balok



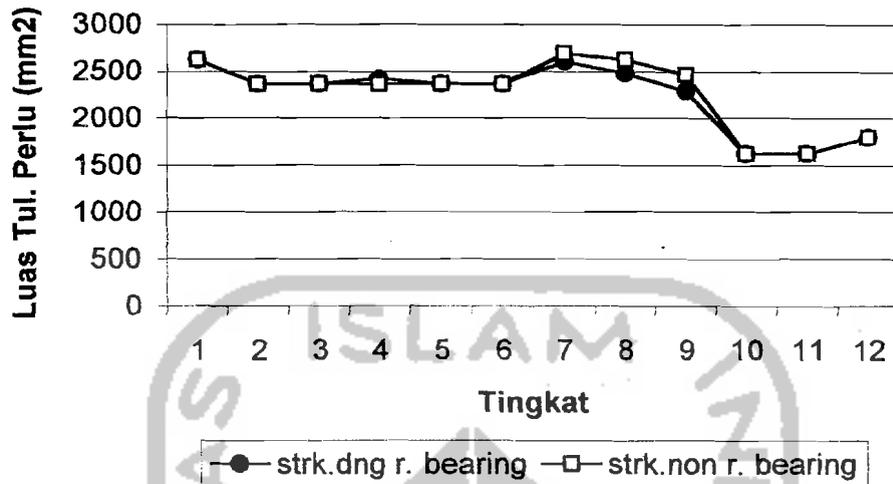
Gambar 6.4 Grafik momen ultimit lapangan balok



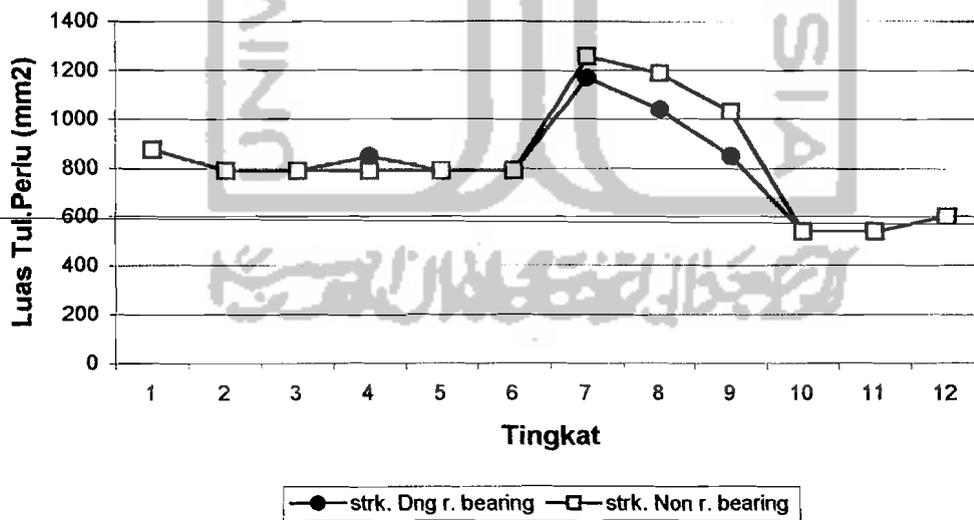
Gambar 6.5 Grafik luas tulangan tarik perlu pada tumpuan balok



Gambar 6.6 Grafik luas tulangan tekan perlu tumpuan balok



Gambar 6.7 Grafik luas tulangan tarik perlu lapangan balok



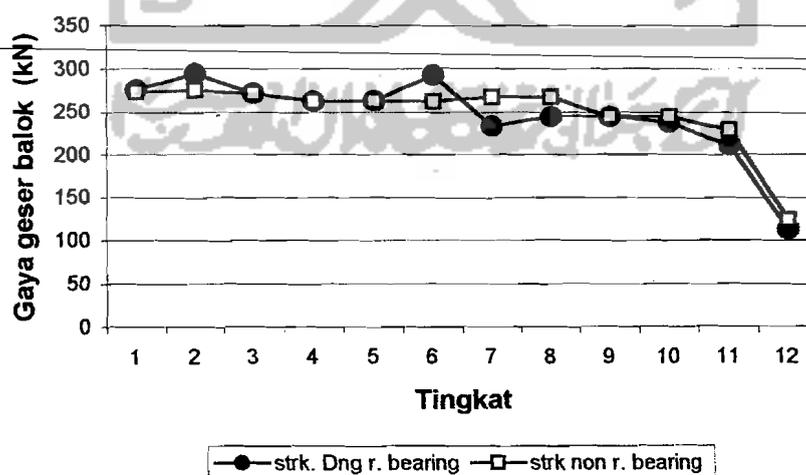
Gambar 6.8 Grafik luas tulangan tekan perlu lapangan balok

Dari grafik momen ultimit pada lapangan terlihat momen ultimit struktur dengan *rubber bearing* lebih besar dari pada momen ultimit struktur *non rubber*

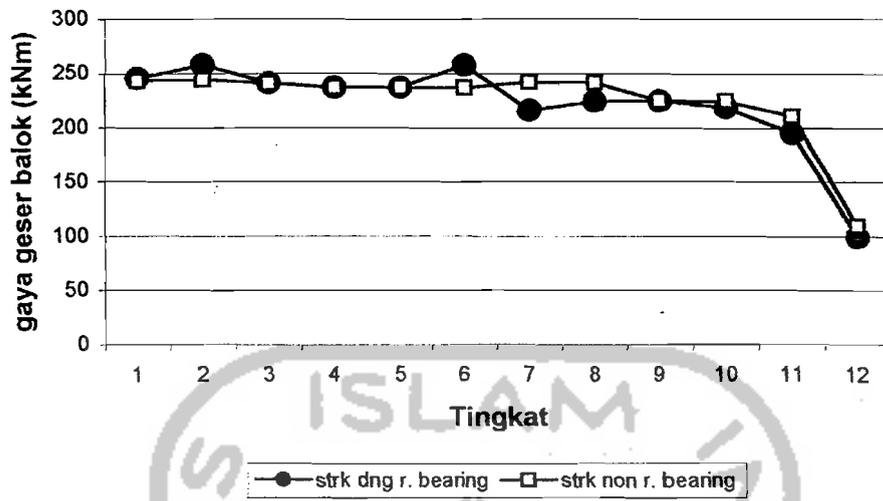
bearing. Hal ini berbanding lurus dengan jumlah tulangan perlu balok, tetapi pada momen tumpuan terjadi sebaliknya. Dengan demikian jumlah tulang total yang dipakai akan lebih banyak pada struktur *non rubber bearing* dibandingkan dengan jumlah tulangan struktur dengan *rubber bearing* sebagaimana yang terlihat pada grafik jumlah tulang perlu baik pada tumpuan maupun pada daerah lapangan. Hal ini disebabkan karena panjang tulangan lapangan lebih besar daripada panjang tulangan tumpuan balok.

6.2.2 Desain Tulangan Geser Balok

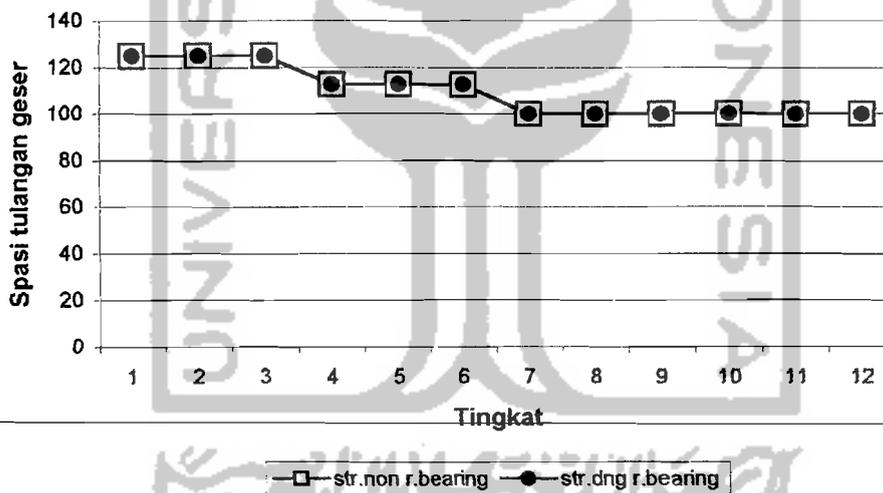
Pada saat balok menerima beban lentur, balok juga menerima beban geser akibat lenturan balok tersebut. Dengan demikian di perlukan tulangan geser yang menahan beban tersebut, yang besarnya seperti aturan yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Gaya geser dan jumlah tulangan geser balok diberikan dalam Gambar 6.9 sampai Gambar 6.12.



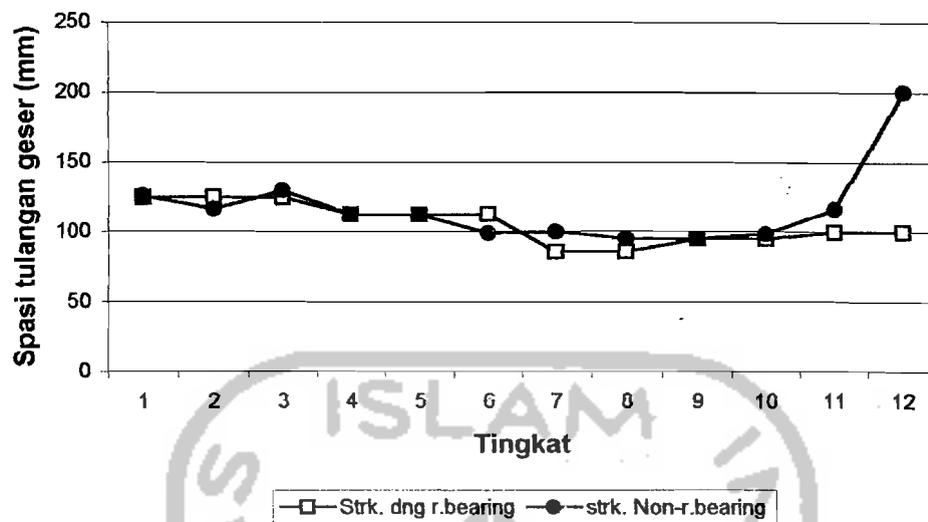
Gambar 6.9 Grafik gaya geser balok dalam daerah sendi plastis (*lo*)



Gambar 6.10 Grafik gaya geser balok di luar daerah sendi plastis ($>l_0$)



Gambar 6.11 Spasi tulangan geser perlu balok dalam daerah sendi plastis



Gambar 6.12 Spasi tulangan geser perlu balok di luar daerah sendi plastis

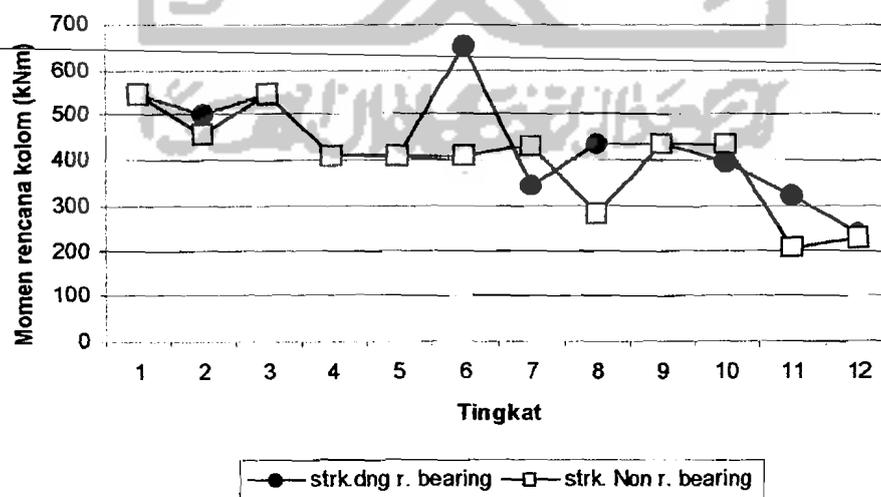
Berdasarkan grafik gaya geser balok akibat kombinasi pembebanan yang terbesar dan kapasitas momen balok terlihat bahwa, untuk struktur dengan *rubber bearing* kapasitas momen balok mendominasi pada tingkat 1 sampai tingkat 9, sedangkan tingkat-tingkat di atasnya kombinasi pembebanan terbesar lebih dominan. Sedangkan pada struktur *non rubber bearing* gaya geser akibat kapasitas momen balok terjadi pada tingkat 1 sampai dengan tingkat 10, sedangkan untuk tingkat-tingkat di atasnya kombinasi pembebanan terbesar lebih dominan. Keadaan ini serupa dengan perletakan sendi plastis yang berkaitan dengan kemampuan *rubber bearing* dalam mereduksi beban gempa yang bekerja pada struktur.

Grafik luas tulangan geser perlu pada tumpuan untuk struktur dengan *rubber bearing* dan struktur *non rubber bearing* relatif hampir sama, sedangkan pada daerah $>l_0$ balok untuk struktur *non rubber bearing* membutuhkan tulangan lebih banyak pada tingkat 3, 7 sampai tingkat 12, dan pada tingkat-tingkat atas

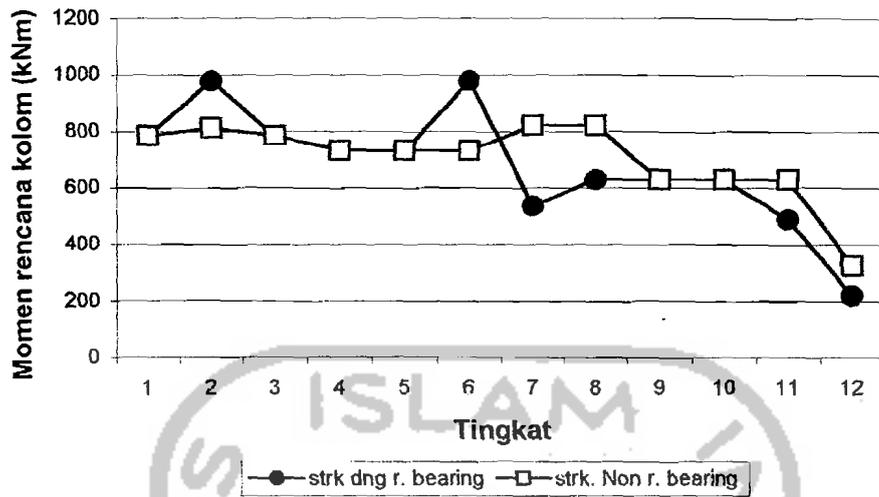
memiliki kurva yang sangat tajam, akibat dominasi beban gempa yang bekerja pada tingkat-tingkat atas. Dengan demikian jumlah tulangan geser yang dibutuhkan untuk struktur *non rubber bearing* lebih besar dari pada struktur dengan *rubber bearing*.

6.2.3 Desain Kolom

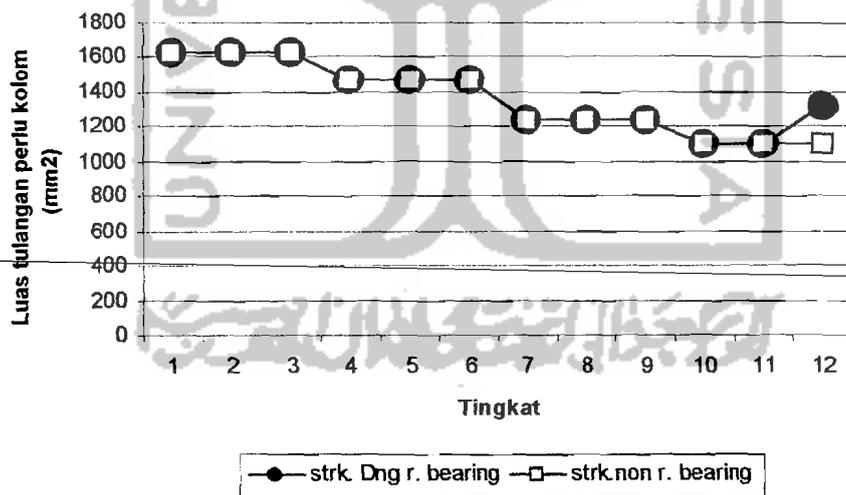
Desain kolom yang meliputi penulangan longitudinal dan transversal kolom ditentukan oleh momen rencana kolom yang terjadi pada kolom tersebut. Momen rencana kolom didapat dengan mengalikan momen kapasitas balok dengan suatu koefisien tertentu sesuai dengan SK SNI 1991 T-15-03, sedangkan momen kapasitas balok didapat dengan mengalikan momen nominal aktual balok dengan koefisien sebesar 1,25. Hal ini dilakukan untuk menjamin terjadinya mekanisme *strong column, weak beam*. Momen rencana kolom pada struktur dengan *rubber bearing* dan *non rubber bearing* untuk kolom tepi dan kolom tengah dapat dilihat pada Gambar 6.13 sampai dengan Gambar 6.16.



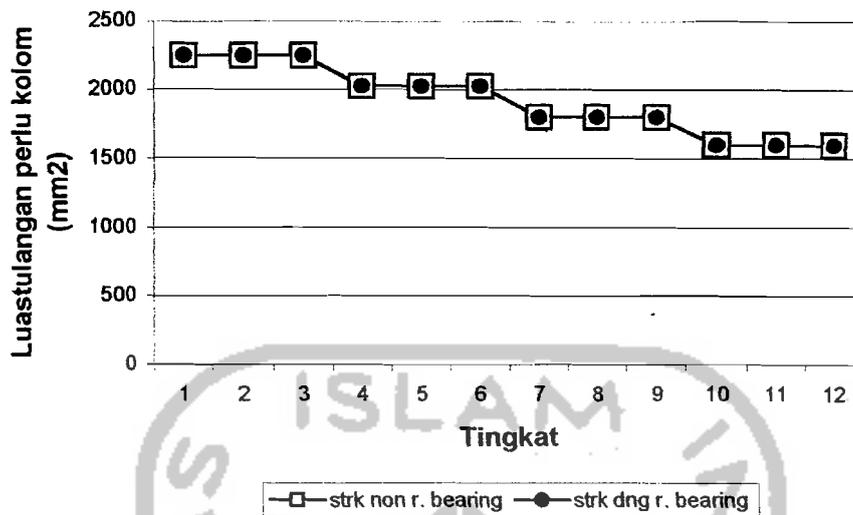
Gambar 6.13 Momen rencana kolom tepi



Gambar 6.14 Momen rencana kolom tengah



Gambar 6.15 Luas tulangan perlu kolom tepi



Gambar 6.16 Luas tulangan perlu kolom tengah

Pada gambar momen rencana kolom untuk struktur dengan rubber bearing terlihat bahwa, gradien pembesaran momen relatif sama (seragam) pada tingkat 1, 3 sampai dengan tingkat 12 antara kolom tepi dan kolom tengah yang mempunyai momen lebih besar, yang mengalami perbedaan gradien berupa pembesaran momen yang cukup signifikan. Hal ini berpengaruh pada keseragaman goyangan struktur saat menerima beban dinamis berupa gempa. Sedangkan pada struktur non rubber bearing terlihat gradien pembesaran momen acak (tidak seragam) antara kolom tepi dengan kolom tengah. hal ini terlihat pada momen kolom tingkat 2, 8 sampai dengan tingkat 12. sedangkan pada tingkat-tingkat lainnya relatif sama.

Momen rencana kolom didasarkan pada momen maksimum kolom yang terjadi antara kapasitas momen kapasitas balok, dengan momen akibat kombinasi pembebanan. Momen rencana maksimum kolom akan tercapai karena momen

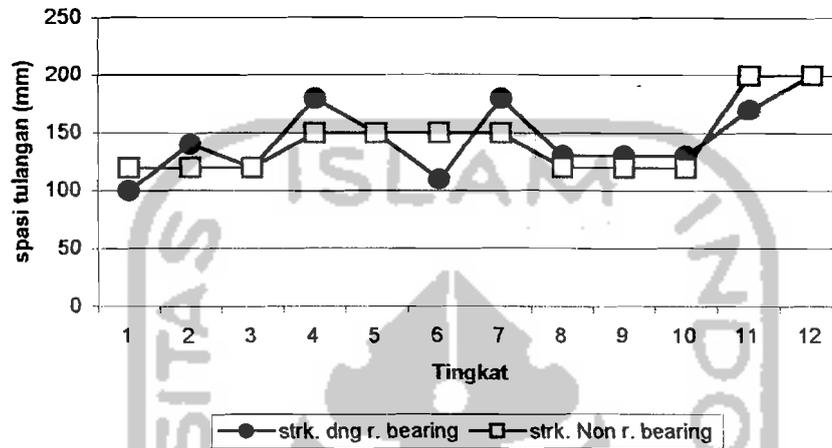
kapasitas balok telah tercapai terlebih dahulu terjadi pada kolom tepi tingkat 1 sampai tingkat 9 untuk struktur dengan *rubber bearing*, sedangkan untuk struktur *non rubber bearing* terjadi pada tingkat 1 sampai dengan tingkat 7 serta tingkat 9 dan 10. Keadaan ini juga terjadi pada kolom tengah baik pada struktur dengan *rubber bearing* maupun struktur *non rubber bearing*, namun perletakannya yang berbeda yaitu terjadi pada tingkat 1 sampai dengan tingkat 10 untuk struktur dengan *rubber bearing* sedangkan pada struktur *non rubber bearing* terjadi pada tingkat 1 sampai dengan tingkat 11. Sedangkan momen rencana maksimum kolom yang bekerja pada kolom tepi atau kolom tengah tingkat atas (selain tingkat yang disebutkan di atas), baik pada struktur dengan *rubber bearing* maupun struktur *non rubber bearing* akan tercapai pada saat kombinasi gaya terfaktor maksimum yang direncanakan yang akan diterima oleh struktur tercapai.

Pada grafik penulangan longitudinal kolom tepi maupun kolom tengah baik pada struktur dengan *rubber bearing* maupun struktur *non rubber bearing* memiliki gradien yang sama kecuali pada kolom tepi tingkat 12, hal ini terjadi karena penggunaan tulangan minimum sebesar 1% dari luas tampang, sedangkan pada kolom tepi tingkat 12 penggunaan tulangan minimum diberikan sebesar 1.2%. Dengan demikian luas tulangan perlu untuk struktur dengan *rubber bearing* dan struktur *non rubber bearing* relatif sama.

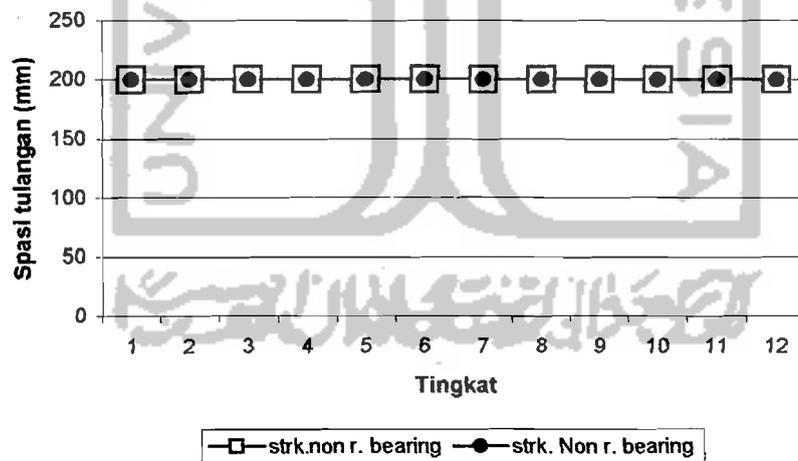
6.2.4 Tulangan Geser Kolom

Desain tulangan geser kolom sama halnya dengan desain tulangan geser balok dalam hal daerah desain, yaitu keduanya didesain untuk dua daerah, yaitu

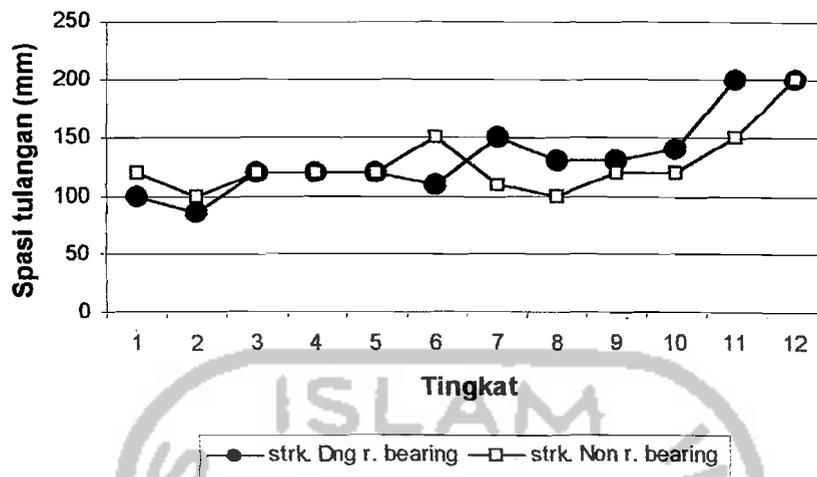
pada daerah sendi plastis (dalam l_0) dan di luar daerah sendi plastis (di luar l_0). Spasi tulangan geser kolom tepi dan tengah pada struktur dengan *rubber bearing* dan *non rubber bearing* seperti Gambar 6.17 sampai dengan Gambar 6.19.



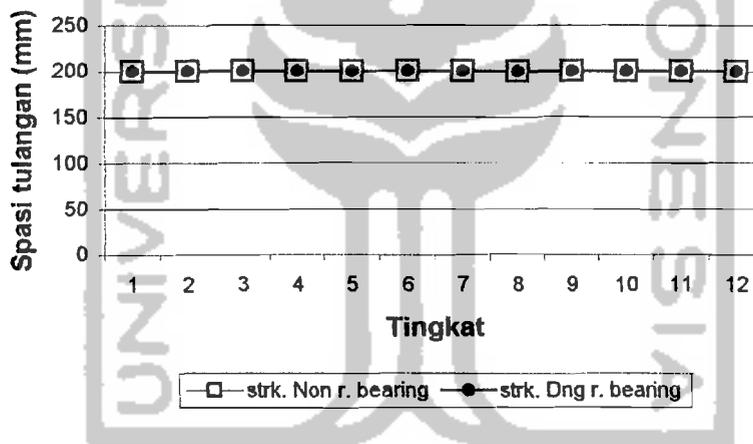
Gambar 6.17 Grafik spasi tulangan geser daerah l_0 kolom tepi



Gambar 6.18 Grafik spasi tulangan geser daerah $>l_0$ kolom tepi



Gambar 6.19 Grafik spasi tulangan geser daerah l_o kolom tengah



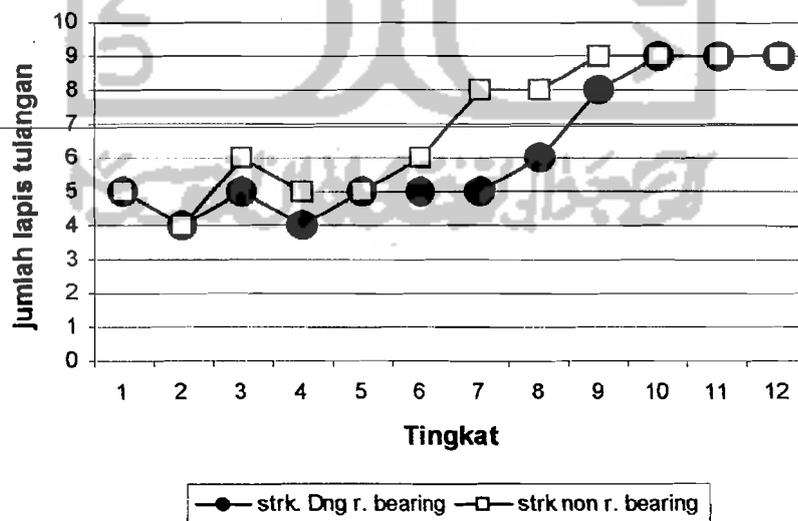
Gambar 6.20 Grafik spasi tulangan geser daerah $>l_o$ kolom tengah

Dari grafik spasi tulangan geser kolom diatas terlihat, bahwa spasi tulangan geser kolom tepi untuk sturuktur dengan *rubber bearing* mempunyai jarak yang lebih besar dibandingkan dengan tstruktur *non rubber bearing*, yaitu pada tingkat 2, 4 dan tuingkat 7 sampai dengan tingkat 10, sedangkan pada tingkat 3, 4 dan 5 mempunyai jarak tulangan yang sama, hal ini terjadi juga pada kolom tengah. Sedangkan pada penulangan geser kolom pada daerah diluar l_o di

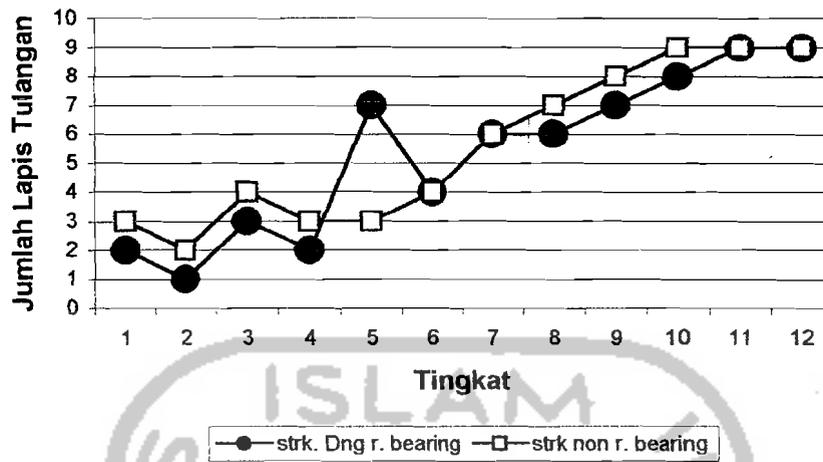
gunakan spasi tulangan geser yang sama untuk struktur dengan *rubber bearing* dan struktur *non rubber bearing*, hal ini disebabkan karena spasi tulangan yang diperlukan bernilai negatif dan pada beberapa tingkat melampau spasi yang disyaratkan, dengan demikian spasi tulangan geser diambil spasi maksimum sesuai dengan yang disyaratkan oleh SK SNI T-15-1991-03 ayat 3.4.5 butir 4.

6.2.5 Pertemuan Balok Kolom

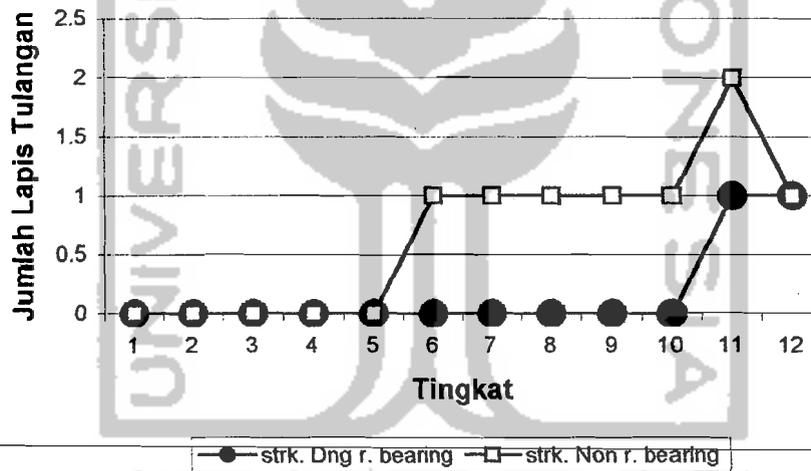
Komponen penulangan pada pertemuan balok dan kolom (joint) yang terdiri dari penulangan geser horisontal dan vertikal. Hasil desain tulangan geser balok horisontal dan vertikal seperti terlihat pada Gambar 6.21 sampai dengan Gambar 6.24.



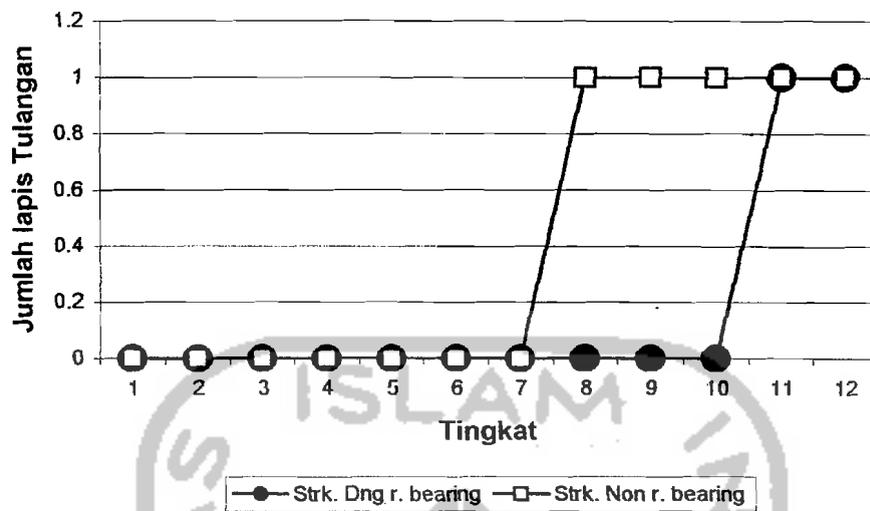
Gambar 6.21 Tulangan geser horisontal pertemuan balok kolom tepi



Gambar 6.22 Tulangan geser horisontal pertemuan balok kolom tengah



Gambar 6.23 Tulangan geser vertikal pertemuan balok kolom tepi



Gambar 6.24 Tulangan geser vertikal pertemuan balok kolom tengah

Pada grafik penulangan geser horisontal dan vertikal pertemuan balok kolom diatas terlihat bahwa, struktur dengan *rubber bearing* memiliki jumlah lapis tulangan yang lebih kecil daripada struktur *non rubber bearing*, hal ini didasarkan pada kemampuan meminimalisir gaya-gaya yang timbul pada *joint* akibat beban dinamis oleh *rubber bearing*.