

## BAB VII

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan pada model portal struktur 2 dimensi dengan bentuk simetris bertingkat 8, 12, 16, dan 20 dengan ukuran kolom dan balok sama untuk semua tingkat dan lebar bentang balok  $L = 2,5H$ . Daerah gempa adalah gempa pada wilayah gempa 2 dengan kondisi tanah keras. Beban yang terjadi sama untuk tiap-tiap tingkat yaitu 1 ton/m dan 0,7 ton/m untuk lantai atap. Dari pembebanan diatas, selanjutnya didapatkan beban gempa untuk masing-masing tingkat dengan metode statik ekuivalen. Data-data tersebut kemudian diolah dengan bantuan program aplikasi *SAP90*.

Hasil yang didapat dari program *SAP90* yang nantinya akan dianalisis adalah momen, gaya geser dan gaya aksial. Untuk analisa momen balok dan kolom akibat beban gravitasi dan beban gempa, output momen balok dan kolom dari *SAP90*, dibagi dengan momen negatif atau disebut koefisien  $C_1$ , yaitu  $C_1 = \frac{1}{12} \cdot q_s \cdot l$ .

Sedangkan untuk analisis gaya geser balok dan kolom, output gaya geser dari *SAP90*

dibagi dengan koefisien  $C_2$ , yaitu  $C_2 = \frac{1}{2} \cdot q_s \cdot l$ .

## 7.1 Analisa Balok

### 7.1.1 Momen tepi luar balok

Momen tepi luar balok merupakan momen dari analisa struktur yang telah dinormalisasi dengan momen dari balok tunggal dengan perletakan jepit-jepit. Yang dinyatakan dalam koefisien  $\alpha$ , seperti ditunjukkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 7.1. koefisien  $\alpha$  struktur 8 tingkat tepi luar balok

Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5359	0.8976	1.3971	1.3941
2	0.5308	0.9516	1.6264	1.6240
3	0.5320	0.9752	1.5584	1.5560
4	0.5326	0.9957	1.3819	1.3795
5	0.5332	1.0118	1.1399	1.1375
6	0.5335	1.0236	0.8463	0.8434
7	0.5322	1.0372	0.5196	0.5202
8	0.4043	0.6538	0.2544	0.2580

Tabel 7.2. koefisien  $\alpha$  struktur 12 tingkat tepi luar balok

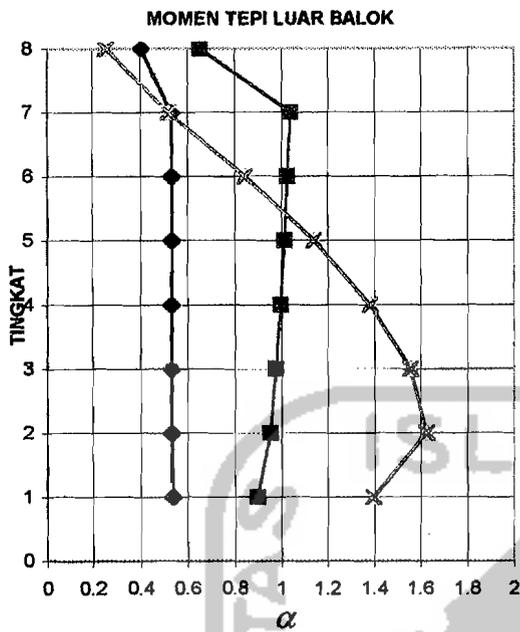
Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5363	0.9102	1.8766	1.8748
2	0.5315	0.9767	2.2422	2.2407
3	0.5332	1.0130	2.2519	2.2506
4	0.5343	1.0462	2.1574	2.1561
5	0.5352	1.0755	2.0145	2.0132
6	0.5361	1.1006	1.8355	1.8342
7	0.5368	1.1218	1.6229	1.6215
8	0.5373	1.1391	1.3777	1.3763
9	0.5377	1.1525	1.1008	1.0994
10	0.5381	1.1625	0.7961	0.7943
11	0.5359	1.1841	0.4785	0.4798
12	0.4146	0.7676	0.2311	0.2350

Tabel 7.3. koefisien  $\alpha$  struktur 16 tingkat tepi luar balok

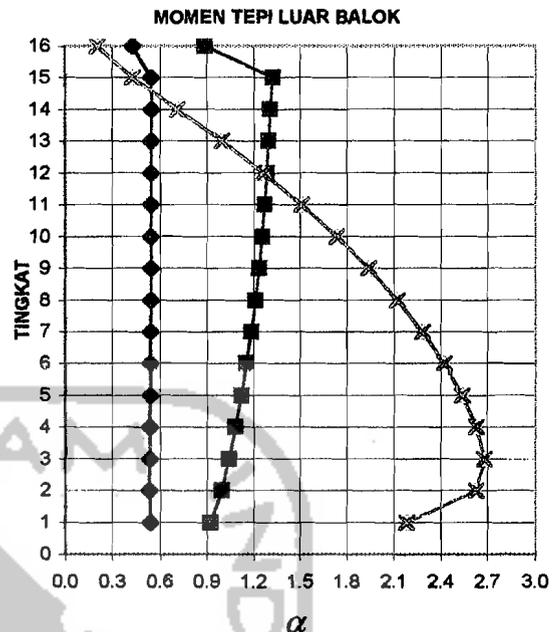
Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5365	0.9189	2.1811	2.1799
2	0.5321	0.9939	2.6291	2.6282
3	0.5340	1.0389	2.6816	2.6807
4	0.5355	1.0811	2.6298	2.6289
5	0.5367	1.1193	2.5383	2.5375
6	0.5377	1.1537	2.4215	2.4206
7	0.5388	1.1843	2.2823	2.2814
8	0.5397	1.2114	2.1214	2.1205
9	0.5405	1.2351	1.9390	1.9382
10	0.5411	1.2555	1.7351	1.7343
11	0.5417	1.2727	1.5099	1.5091
12	0.5422	1.2866	1.2634	1.2626
13	0.5425	1.2974	0.9964	0.9954
14	0.5428	1.3053	0.7123	0.7110
15	0.5398	1.3228	0.4239	0.4253
16	0.4254	0.8847	0.2034	0.2071

Tabel 7.4. koefisien  $\alpha$  struktur 20 tingkat tepi luar balok

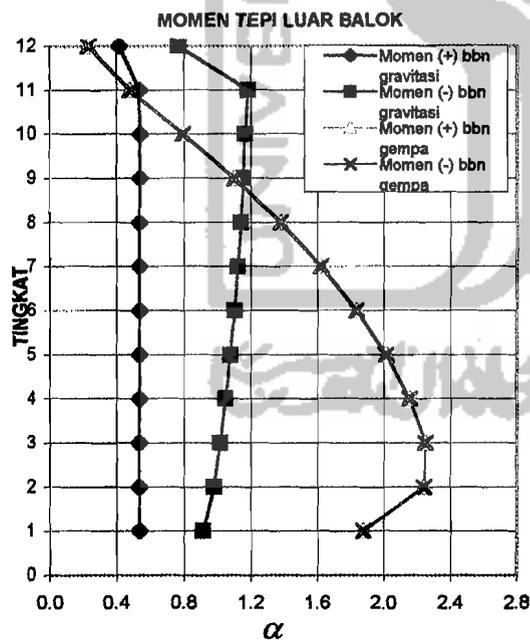
Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5368	0.9245	2.2394	2.2386
2	0.5325	1.0050	2.7105	2.7099
3	0.5346	1.0557	2.7840	2.7834
4	0.5362	1.1036	2.7584	2.7578
5	0.5376	1.1477	2.7001	2.6995
6	0.5389	1.1880	2.6235	2.6229
7	0.5401	1.2248	2.5320	2.5314
8	0.5412	1.2581	2.4260	2.4254
9	0.5422	1.2884	2.3059	2.3053
10	0.5430	1.3155	2.1716	2.1711
11	0.5460	1.3397	2.0233	2.0227
12	0.5523	1.3611	1.8607	1.8602
13	0.5577	1.3798	1.6840	1.6835
14	0.5623	1.3958	1.4932	1.4927
15	0.5662	1.4093	1.2884	1.2879
16	0.5694	1.4204	1.0696	1.0690
17	0.5719	1.4288	0.8374	0.8368
18	0.5737	1.4348	0.5946	0.5938
19	0.5737	1.4541	0.3517	0.3532
20	0.4633	0.9909	0.1682	0.1715



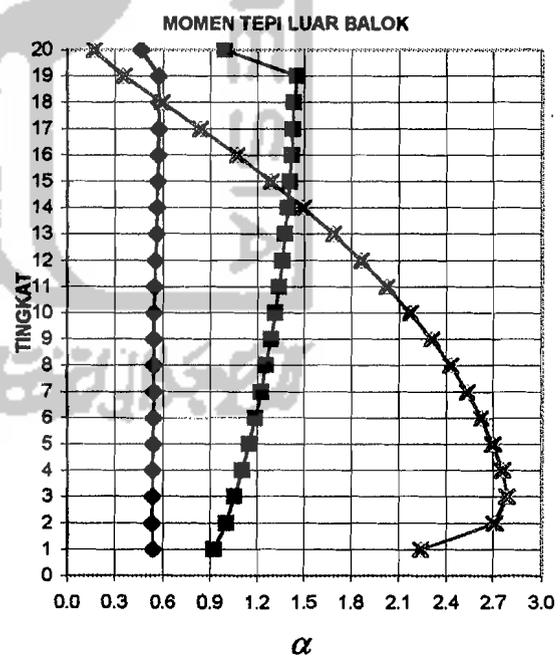
Gambar 7.1 Momen balok tepi luar struktur 8 tingkat



Gambar 7.2 Momen balok tepi luar struktur 16 tingkat



Gambar 7.3 Momen balok tepi luar struktur 12 tingkat



Gambar 7.4 Momen balok tepi luar struktur 20 tingkat

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa struktur portal yang mempunyai lebar  $L = 2,5H$  terlihat bahwa semakin banyak tingkat yang dimiliki sebuah struktur, maka semakin besar perbandingan antara momen akibat beban gravitasi dan momen akibat beban gempa. Pada analisa momen tepi luar balok tiap tingkat tampak bahwa momen negatif semakin keatas relatif semakin besar. Sedangkan besarnya momen positif relatif sama untuk tiap tingkatnya.

Dari grafik dapat dibuat sebuah iterasi untuk mencari momen negatif tepi dalam balok, yaitu:

$$M = \alpha \cdot C_1 \cdot \gamma$$

Dimana :  $\alpha = \frac{\text{Momen hasil SAP90}}{C_1} = \text{koefisien arah sumbu x pada tabel.}$

$$C_1 = \text{besarnya momen negatif balok tunggal} = \frac{1}{12} \cdot q_s \cdot l^2$$

Untuk bentang balok  $L = 2,5H$ , maka  $C_1 = 8,333q$  ton

$$\gamma = \text{beban grafitasi} = \frac{q}{1 \text{ ton/m}}$$

Sebagai contoh hitungan untuk mencari momen negatif tepi luar balok pada lantai 8 struktur 16 tingkat dengan beban sebesar 3 ton/m :

Dari grafik struktur 16 tingkat lantai 8 untuk momen negatif beban grafitasi didapat  $\alpha_v = 1,2114$ . Momen negatif yang terjadi sebesar :

$$M = \alpha_v \cdot C_1 \cdot \gamma$$

$$= 1,2114 \cdot 8,333q_s \cdot \frac{q}{1 \text{ ton/m}} = 1,2114 \cdot (8,333 \cdot 1) \cdot \left(\frac{3}{1}\right) = 29,9988 \text{ ton.m}$$

Jadi besarnya momen negatif tepi luar balok yang terjadi di lantai 8 struktur 16 lantai adalah ; 29,9988 ton.m

### 7.1.2 Momen tepi dalam balok

Seperti halnya momen tepi luar balok, momen tepi dalam balok ini merupakan momen dari analisa struktur yang telah dinormalisasi dengan momen dari balok tunggal dengan perletakan jepit-jepit. Yang dinyatakan dalam koefisien  $\alpha$ , seperti ditunjukkan dalam tabel berikut ini

Tabel 7.5. koefisien  $\alpha$  struktur 8 tingkat tepi dalam balok

Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5359	1.0306	1.3025	1.3011
2	0.5308	0.9870	1.5298	1.5287
3	0.5320	0.9610	1.4665	1.4653
4	0.5326	0.9392	1.3005	1.2994
5	0.5332	0.9220	1.0727	1.0716
6	0.5335	0.9094	0.7956	0.7943
7	0.5322	0.8986	0.4927	0.4931
8	0.4043	0.6378	0.2287	0.2305

Tabel 7.6. koefisien  $\alpha$  struktur 12 tingkat tepi luar balok

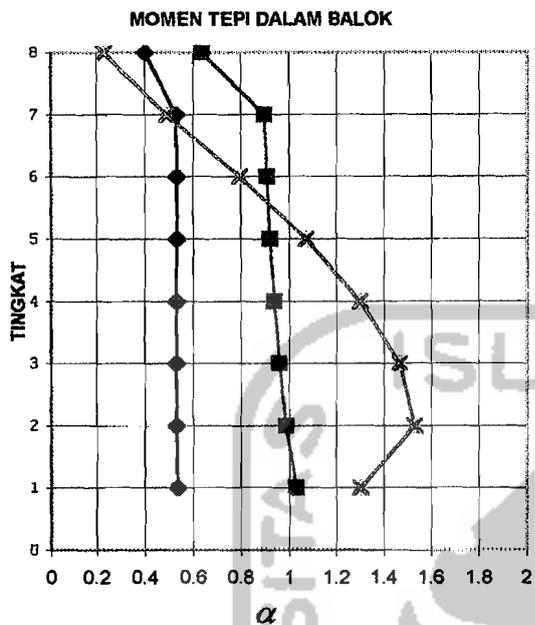
Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5363	1.0173	1.7423	1.7502
2	0.5315	0.9604	2.1100	2.1093
3	0.5332	0.9208	2.1202	2.1196
4	0.5343	0.8853	2.0318	2.0312
5	0.5352	0.8542	1.8973	1.8966
6	0.5361	0.8274	1.7285	1.7278
7	0.5368	0.8049	1.5283	1.5277
8	0.5373	0.7864	1.2973	1.2965
9	0.5377	0.7720	1.0367	1.0358
10	0.5381	0.7618	0.7489	0.7481
11	0.5359	0.7503	0.4541	0.4548
12	0.4146	0.4967	0.1361	0.2100

Tabel 7.7. koefisien  $\alpha$  struktur 16 tingkat tepi dalam balok

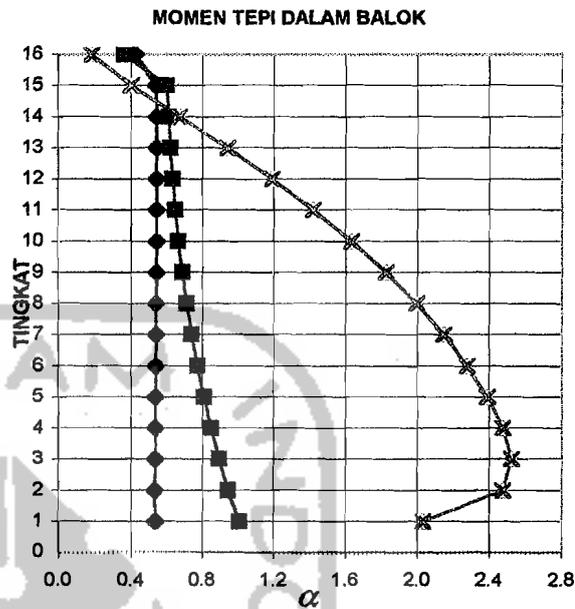
Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5365	1.0080	2.0355	2.0349
2	0.5321	0.9419	2.4746	2.4744
3	0.5340	0.8932	2.5253	2.5248
4	0.5355	0.8482	2.4770	2.4767
5	0.5367	0.8075	2.3910	2.3906
6	0.5377	0.7709	2.2809	2.2806
7	0.5388	0.7381	2.1498	2.1494
8	0.5397	0.7093	1.9982	1.9978
9	0.5405	0.6841	1.8264	1.8260
10	0.5411	0.6624	1.6342	1.6339
11	0.5417	0.6442	1.4221	1.4217
12	0.5422	0.6293	1.1898	1.1895
13	0.5425	0.6177	0.9383	0.9380
14	0.5428	0.6093	0.6702	0.6697
15	0.5398	0.5979	0.4024	0.4032
16	0.4254	0.3647	0.1832	0.1850

Tabel 7.8. koefisien  $\alpha$  struktur 20 tingkat tepi dalam balok

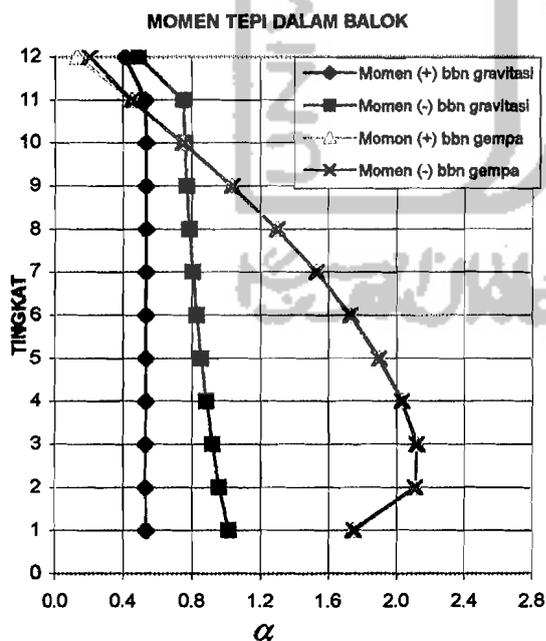
Tingkat	$\alpha$			
	M (+) bbn Gravitasi	M (-) bbn Gravitasi	M (+) bbn Gempa	M (-) bbn Gempa
1	0.5368	0.9245	2.2394	2.2386
2	0.5325	1.0050	2.7105	2.7099
3	0.5346	1.0557	2.7840	2.7834
4	0.5362	1.1036	2.7584	2.7578
5	0.5376	1.1477	2.7001	2.6995
6	0.5389	1.1880	2.6235	2.6229
7	0.5401	1.2248	2.5320	2.5314
8	0.5412	1.2581	2.4260	2.4254
9	0.5422	1.2884	2.3059	2.3053
10	0.5430	1.3155	2.1716	2.1711
11	0.5460	1.3397	2.0233	2.0227
12	0.5523	1.3611	1.8607	1.8602
13	0.5577	1.3798	1.6840	1.6835
14	0.5623	1.3958	1.4932	1.4927
15	0.5662	1.4093	1.2884	1.2879
16	0.5694	1.4204	1.0696	1.0690
17	0.5719	1.4288	0.8374	0.8368
18	0.5737	1.4348	0.5946	0.5938
19	0.5737	1.4541	0.3517	0.3532
20	0.4633	0.9909	0.1682	0.1715



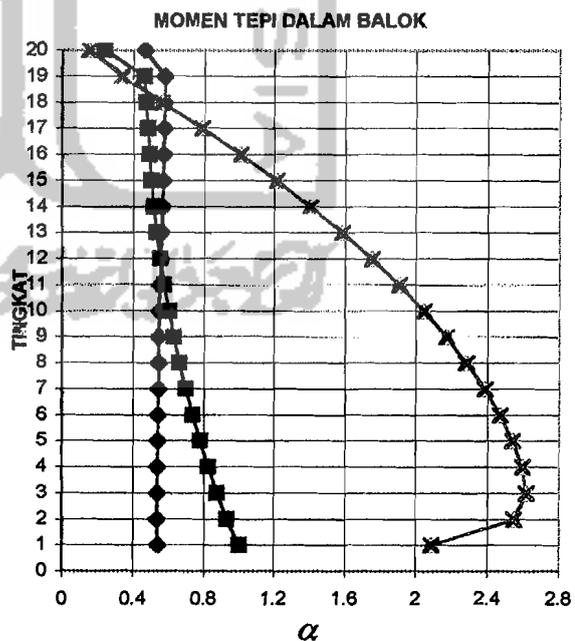
Gambar 7.5 Momen tepi dalam balok Struktur 8 tingkat



Gambar 7.6 Momen tepi dalam balok Struktur 16 tingkat



Gambar 7.7 Momen tepi dalam balok Struktur 12 tingkat



Gambar 7.8 Momen tepi dalam balok Struktur 20 tingkat

Dari analisis diatas tampak bahwa perbandingan antara momen beban grafitasi dan momen beban gempa untuk momen tepi dalam balok relatif sama dengan perbandingan momen tepi luar balok. Untuk momen positif balok dan momen akibat beban gempa besarnya sama dengan momen positif dan momen akibat beban gempa tepi luar balok. Kecuali momen negatif balok tepi dalam hasilnya berlawanan dengan momen tepi luar balok, yaitu tampak pada grafik bahwa semakin tinggi bangunan maka momen negatif akan relatif semakin mengecil.

Dari grafik diatas juga dapat dibuat iterasi seperti halnya dengan momen tepi luar balok, yaitu :

$$M = \alpha \cdot C_1 \cdot \gamma$$

Dimana :  $\alpha = \frac{\text{Momen hasil SAP90}}{C_1} = \text{koefisien arah sumbu x pada grafik.}$

$$C_1 = \text{besarnya momen negatif balok tunggal} = \frac{1}{12} \cdot q_s \cdot l^2$$

Untuk lebar bentang  $L=2,5H$ , maka  $C_1 = 8,333q$  ton

$$\gamma = \text{beban grafitasi} = \frac{q}{1 \text{ ton/m}}$$

Dalam analisis ini digunakan asumsi awal  $q = 1 \text{ ton/m}$

Contoh hitungan momen tepi dalam balok ini, sama dengan momen tepi luar balok.

### 7.1.3 Analisa geser Balok

Gaya geser balok ini merupakan gaya geser dari analisa struktur yang telah dinormalisasi dengan gaya geser dari balok tunggal dengan perletakan jepit-jepit.

Yang dinyatakan dalam koefisien  $\beta$ , seperti ditunjukkan dalam tabel berikut ini

Tabel 7.9 koefisien  $\beta$  struktur 8 tingkat

Tingkat	$\beta$		
	Balok tepi Bbn. grafitasi	Balok dalam Bbn. grafitasi	Balok beban gempa
1	0.9778	1.0222	0.4500
2	0.9942	1.0058	0.5260
3	1.0024	0.9976	0.5042
4	1.0094	0.9906	0.4470
5	1.0150	0.9850	0.3688
6	1.0190	0.9810	0.2736
7	1.0232	0.9768	0.1688
8	0.7026	0.6974	0.0806

Tabel 7.10 koefisien  $\beta$  struktur 12 tingkat

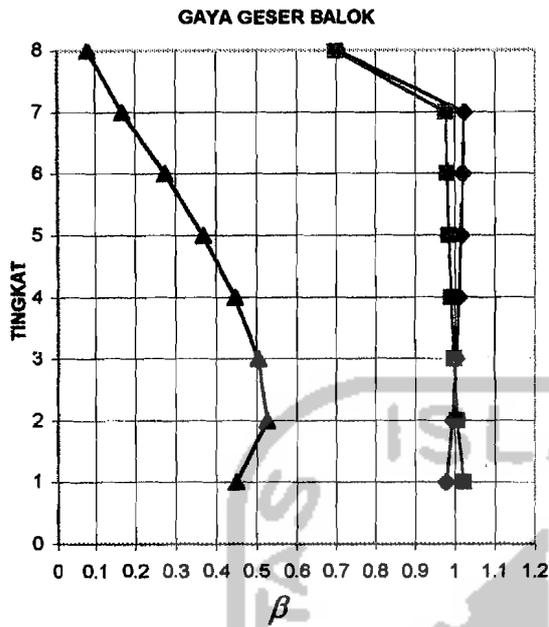
Tingkat	$\beta$		
	Balok tepi Bbn. grafitasi	Balok dalam Bbn. grafitasi	Balok beban gempa
1	0.9822	1.0178	0.6046
2	1.0028	0.9972	0.7254
3	1.0154	0.9846	0.7286
4	1.0268	0.9732	0.6982
5	1.0368	0.9632	0.6520
6	1.0456	0.9544	0.5940
7	1.0528	0.9472	0.5252
8	1.0588	0.9412	0.4458
9	1.0634	0.9366	0.3562
10	1.0668	0.9332	0.2574
11	1.0712	0.9288	0.1554
12	0.7440	0.6560	0.0672

Tabel 7.11. koefisien  $\beta$  struktur 16 tingkat

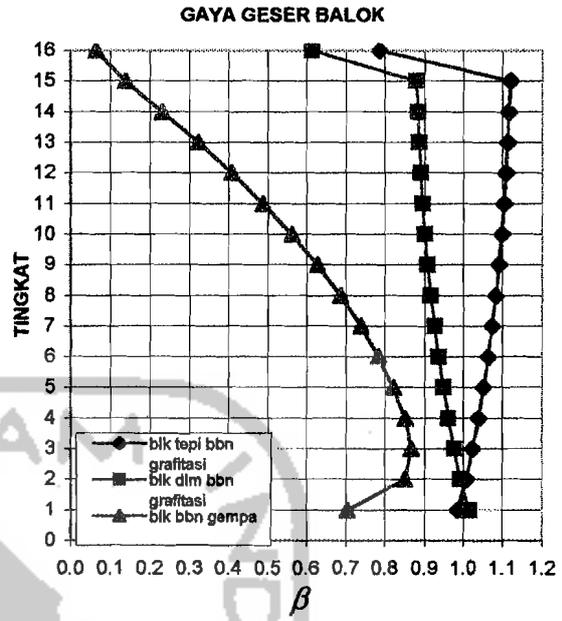
Tingkat	$\beta$		
	Balok tepi Bbn. grafitasi	Balok dalam Bbn. grafitasi	Balok beban gempa
1	0.985	1.015	0.703
2	1.009	0.991	0.851
3	1.024	0.976	0.868
4	1.039	0.961	0.851
5	1.052	0.948	0.822
6	1.064	0.936	0.784
7	1.074	0.926	0.739
8	1.084	0.916	0.687
9	1.092	0.908	0.628
10	1.099	0.901	0.562
11	1.105	0.895	0.489
12	1.110	0.890	0.409
13	1.113	0.887	0.322
14	1.116	0.884	0.230
15	1.121	0.879	0.138
16	0.787	0.613	0.064

Tabel 7.12 koefisien  $\beta$  struktur 20 tingkat

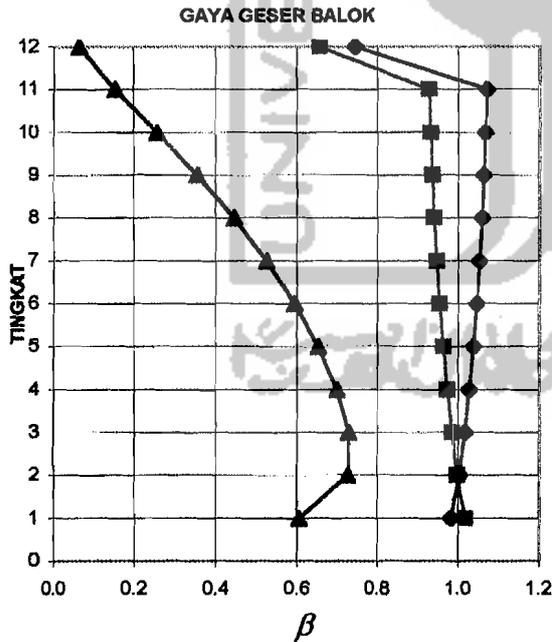
Tingkat	$\beta$		
	Balok tepi Bbn. grafitasi	Balok dalam Bbn. grafitasi	Balok beban gempa
1	0.9870	1.0130	0.7216
2	1.0124	0.9876	0.8770
3	1.0300	0.9700	0.9010
4	1.0466	0.9534	0.8928
5	1.0618	0.9382	0.8740
6	1.0756	0.9244	0.8492
7	1.0882	0.9118	0.8194
8	1.0998	0.9002	0.7852
9	1.1102	0.8898	0.7464
10	1.1196	0.8804	0.7028
11	1.1278	0.8722	0.6548
12	1.1352	0.8648	0.6022
13	1.1416	0.8584	0.5450
14	1.1472	0.8528	0.4832
15	1.1518	0.8482	0.4170
16	1.1556	0.8444	0.3462
17	1.1584	0.8416	0.2710
18	1.1606	0.8394	0.1924
19	1.1658	0.8342	0.1144
20	0.8252	0.5748	0.0532



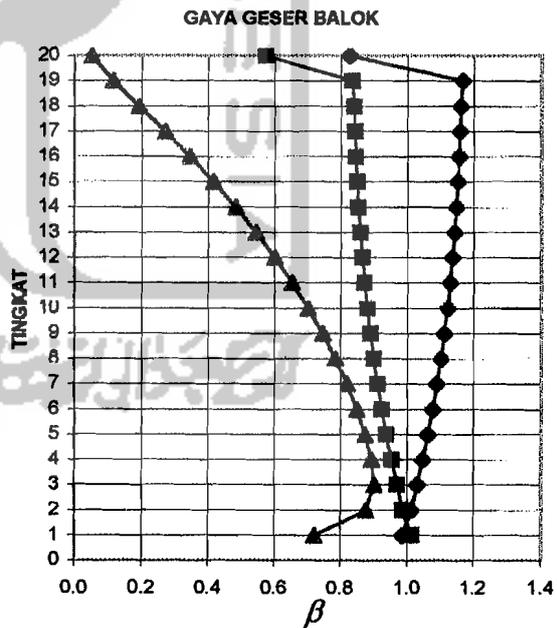
Gambar 7.9 Gaya geser balok struktur 8 lantai



Gambar 7.10 Gaya geser balok struktur 16 lantai



Gambar 7.11 Gaya geser balok struktur 12 lantai



Gambar 7.12 Gaya geser balok struktur 20 lantai

Sebagaimana tampak dalam grafik, dapat dilihat bahwa semakin banyak tingkat yang dimiliki suatu struktur, maka akan semakin kecil perbandingan antara gaya geser beban grafitasi dan daya geser beban gempa. Pada tiap struktur, gaya geser balok tepi dalam yang terjadi semakin keatas semakin kecil, sedangkan untuk gaya geser balok tepi luar gaya geser yang terjadi semakin keatas akan semakin membesar.

Sepertihalnya analisa momen, untuk gaya geser balok juga dapat dibuat iterasi, sebagai berikut:

$$V = \beta \cdot C_2 \cdot \gamma$$

$$\text{Dimana ; } \beta = \frac{\text{gayageserhasilSAP90}}{C_2}$$

$$C_2 = \text{Besarnya gaya geser balok tunggal} = \frac{1}{2} \cdot q_s \cdot l$$

$$\text{Untuk bentang balok } L = 2,5H, \text{ maka } C_2 = 5q_s$$

$$\gamma = \text{beban gravitasi} = \frac{q}{1 \text{ ton/m}}$$

Sebagai contoh hitungan, misalnya mencari besarnya gaya geser akibat beban gempa pada lantai 1 pada struktur 12 tingkat dengan beban  $q = 4 \text{ ton/m}$ .

Dari grafik analisis gaya geser struktur 12 tingkat didapat  $\beta_g = 0,6046$

maka besarnya gaya geser :

$$V = \beta \cdot C_2 \cdot \gamma$$

$$V = \beta_g \cdot 5q_s \cdot \frac{q}{1 \text{ ton/m}} = 0,6046 \cdot (5 \cdot 1) \cdot \frac{4}{1} = 12 \text{ ton/m}$$

jadi besarnya gaya geser akibat beban gempa yang terjadi di lantai 1 pada struktur dengan 12 tingkat = 12 ton/m.

## 7.2 Analisa kolom.

### 7.2.1 Analisa momen kolom

Seperti halnya momen balok, momen kolom ini merupakan momen dari analisa struktur yang telah dinormalisasi dengan momen balok tunggal dengan perletakan jepit-jepit. Yang dinyatakan dalam koefisien  $\alpha$ , seperti ditunjukkan dalam tabel berikut ini

Tabel 7.13. koefisien  $\alpha$  untuk kolom struktur 8 tingkat

Tingkat	$\alpha$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.3945	1.7869	2.0209
2	0.5032	1.0371	1.7456
3	0.4842	0.8805	1.5854
4	0.4949	0.8486	1.4875
5	0.5039	0.7716	1.3113
6	0.5098	0.6595	1.0782
7	0.5139	0.5175	0.7758
8	0.6538	0.2544	0.4353

Tabel 7.14. koefisien  $\alpha$  untuk kolom struktur 12 tingkat

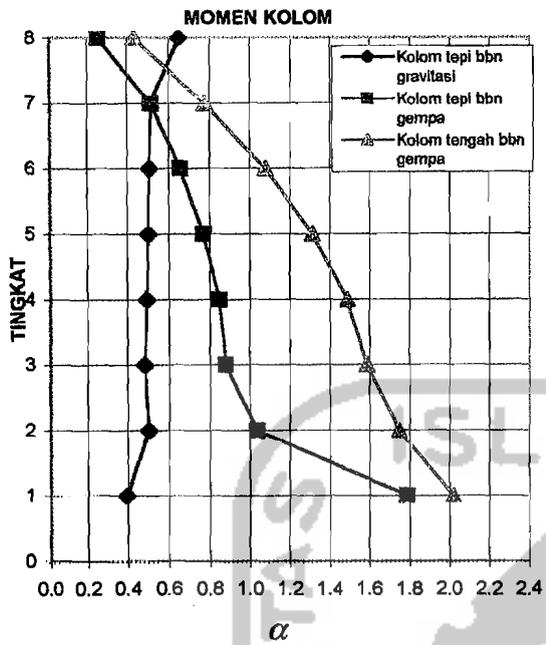
Tingkat	$\alpha$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.3990	2.3777	2.6943
2	0.5111	1.4242	2.3811
3	0.5010	1.1962	2.1986
4	0.5181	1.1579	2.1333
5	0.5334	1.1224	2.0347
6	0.5466	1.0599	1.8979
7	0.5578	0.9797	1.7283
8	0.5670	0.8826	1.5274
9	0.5747	0.7686	1.2950
10	0.5796	0.6346	1.0318
11	0.5829	0.4834	0.7229
12	0.7643	0.2311	0.4181

Tabel 7.15. koefisien  $\alpha$  untuk kolom struktur 12 tingkat

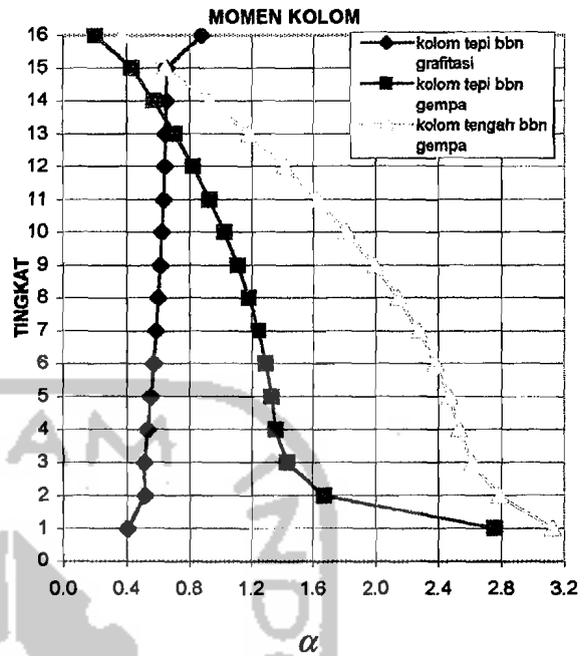
Tingkat	$\alpha$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.4023	2.7580	3.1271
2	0.5167	1.6718	2.7860
3	0.5127	1.4321	2.6126
4	0.5341	1.3577	2.5303
5	0.5539	1.3351	2.4714
6	0.5717	1.2958	2.3838
7	0.5875	1.2443	2.2739
8	0.6017	1.1818	2.1433
9	0.6141	1.1084	1.9922
10	0.6247	1.0241	1.8135
11	0.6339	0.9288	1.6288
12	0.6413	0.8225	1.4165
13	0.6453	0.7050	1.1834
14	0.6515	0.5736	0.9303
15	0.6538	0.4303	0.6439
16	0.8784	0.2034	0.3683

Tabel 7.16. koefisien  $\alpha$  untuk kolom struktur 20 tingkat

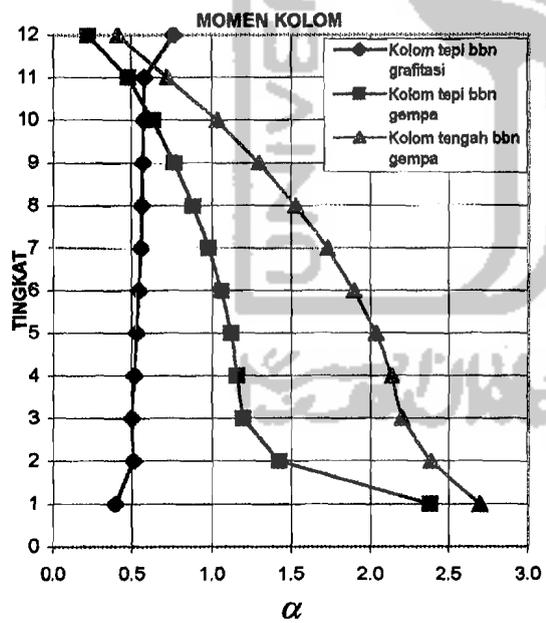
Tingkat	$\alpha$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.4042	2.8325	3.2119
2	0.5202	1.7276	2.8726
3	0.5201	1.4937	2.7131
4	0.5445	1.4131	2.6445
5	0.5671	1.3821	2.5850
6	0.5879	1.3576	2.5290
7	0.6069	1.3247	2.4577
8	0.6179	1.2844	2.3725
9	0.6396	1.2369	2.2739
10	0.6537	1.1822	2.1616
11	0.6663	1.1202	2.0361
12	0.6774	1.0504	1.8972
13	0.6871	0.9748	1.7447
14	0.6955	0.8913	1.5789
15	0.7027	0.8006	1.3995
16	0.7086	0.7024	1.2066
17	0.7135	0.5969	0.9999
18	0.7165	0.4817	0.7800
19	0.7182	0.3585	0.5362
20	0.9909	0.1682	0.3047



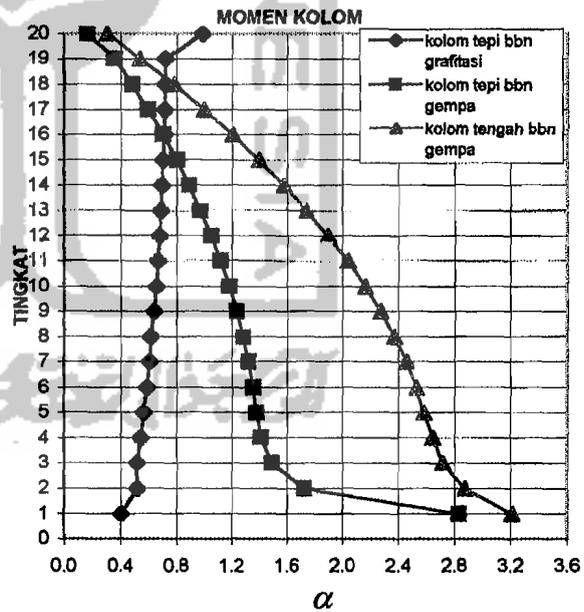
Gambar 7.13 Momen kolom struktur 8 lantai



Gambar 7.15 Momen kolom struktur 16 lantai



Gambar 7.14 Momen kolom struktur 12 lantai



Gambar 7.16 Momen kolom struktur 20 lantai

Dari grafik diatas tampak bahwa perbandingan antara momen kolom akibat beban grafitasi dan momen akibat beban gempa semakin banyak tingkat akan relatif semakin besar. Untuk momen pada kolom tepi dan tengah akibat beban gempa tampak bahwa struktur yang mempunyai banyak tingkat terlihat mempunyai momen yang paling besar diantara yang lainnya, sedangkan untuk momen kolom tepi akibat beban gravitasi semakin banyak tingkat maka momen yang terjadi akan relatif membesar. Untuk kolom tengah beban gravitasi tidak ditampilkan dalam grafik diatas, karena struktur yang dianalisis simetris maka momen yang terjadi adalah nol.

Dengan cara analisis momen kolom yang sama dengan analisis momen balok, momen kolom ini bisa dibuat iterasi, yaitu :

$$M = \alpha \cdot C_1 \cdot \gamma$$

Dimana :  $\alpha = \frac{\text{Momen hasil SAP90}}{C_1}$  = koefisien arah x pada tabel.

$$C_1 = \text{besarnya momen negatif balok tunggal} = \frac{1}{12} \cdot q_s \cdot l^2$$

Untuk lebar bentang  $L=2,5H$ , maka  $C_1 = 8,333q_s$  ton

$$\gamma = \text{beban grafitasi} = \frac{q}{1 \text{ ton/m}}$$

Dalam analisis ini digunakan asumsi awal  $q = 1 \text{ ton/m}$

Contoh hitungan momen tepi dalam balok ini, caranya sama dengan hitungan momen tepi luar balok.

### 7.2.2 Analisa geser kolom

Gaya geser kolom ini merupakan gaya geser dari analisa struktur yang telah dinormalisasi dengan gaya geser dari balok tunggal dengan perletakan jepit-jepit.

Yang dinyatakan dalam koefisien  $\beta$ , seperti ditunjukkan dalam tabel berikut ini

Tabel 7.17. koefisien  $\beta$  untuk kolom struktur 8 tingkat

Tingkat	$\beta$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.2452	0.8944	1.1994
2	0.4072	0.7678	1.3606
3	0.4006	0.7088	1.3016
4	0.4108	0.6360	1.1806
5	0.4186	0.5436	1.0098
6	0.4240	0.4282	0.7964
7	0.4252	0.2934	0.5364
8	0.4934	0.1070	0.2788

Tabel 7.18. koefisien  $\beta$  untuk kolom struktur 12 tingkat

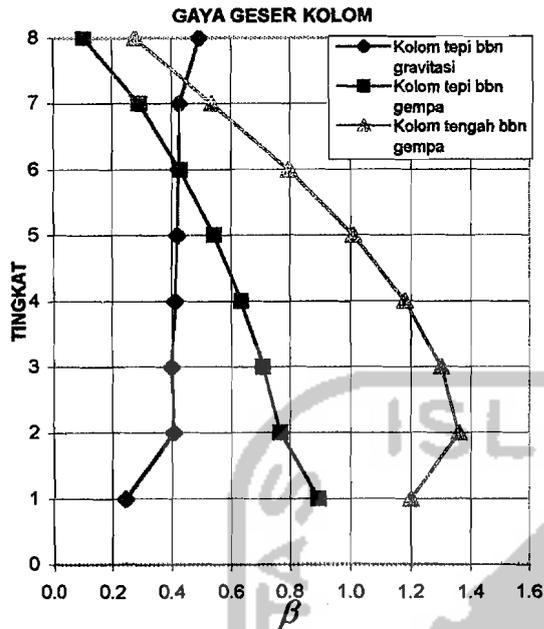
Tingkat	$\beta$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.2482	1.1792	1.5892
2	0.4150	1.0292	1.8340
3	0.4138	0.9840	1.8188
4	0.4292	0.9374	1.7526
5	0.4424	0.8818	1.6518
6	0.4536	0.8134	1.5236
7	0.4632	0.7314	1.3694
8	0.4712	0.6358	1.1896
9	0.4778	0.5264	0.9838
10	0.4822	0.4028	0.7536
11	0.4806	0.2684	0.4950
12	0.5728	0.0086	0.2518

Tabel 7.19. koefisien  $\beta$  untuk kolom struktur 16 tingkat

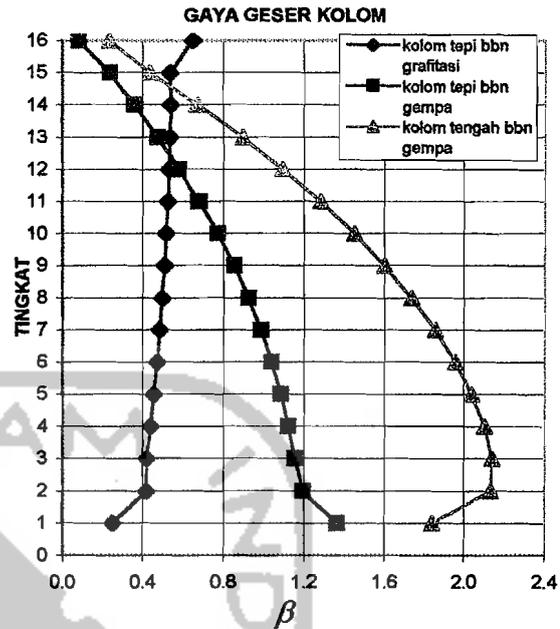
Tingkat	$\beta$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.2502	1.3612	1.8380
2	0.4202	1.1952	2.1342
3	0.4228	1.1564	2.1424
4	0.4418	1.1232	2.1046
5	0.4586	1.0862	2.0394
6	0.4738	1.0412	1.9558
7	0.4874	0.9876	1.8548
8	0.4994	0.9248	1.7368
9	0.5100	0.8532	1.6020
10	0.5190	0.7728	1.4502
11	0.5268	0.6832	1.2818
12	0.5334	0.5848	1.0964
13	0.5386	0.4774	0.8942
14	0.5422	0.3604	0.6762
15	0.5378	0.2370	0.4390
16	0.6544	0.0820	0.2328

Tabel 7.20 koefisien  $\beta$  untuk kolom struktur 20 tingkat

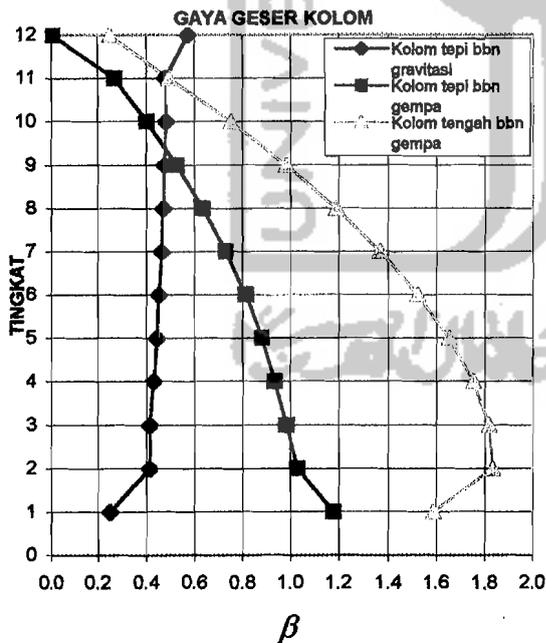
Tingkat	$\beta$		
	Kolom tepi Beban Grafitasi	Kolom tepi Beban Gempa	Kolom tengah Beban Gempa
1	0.2514	1.3934	1.8830
2	0.4236	1.2268	2.1924
3	0.4286	1.1936	2.2132
4	0.4500	1.1694	2.1930
5	0.4692	1.1446	2.1510
6	0.4868	1.1148	2.0960
7	0.5028	1.0794	2.0296
8	0.5174	1.0382	1.9520
9	0.5308	0.9910	1.8632
10	0.5426	0.9380	1.7628
11	0.5534	0.8790	1.6522
12	0.5628	0.8142	1.5302
13	0.5712	0.7434	1.3970
14	0.5784	0.6668	1.2526
15	0.5846	0.5844	1.0972
16	0.5896	0.4960	0.9308
17	0.5938	0.4016	0.7552
18	0.5966	0.3008	0.5654
19	0.5896	0.1964	0.3646
20	0.7284	0.0672	0.1822



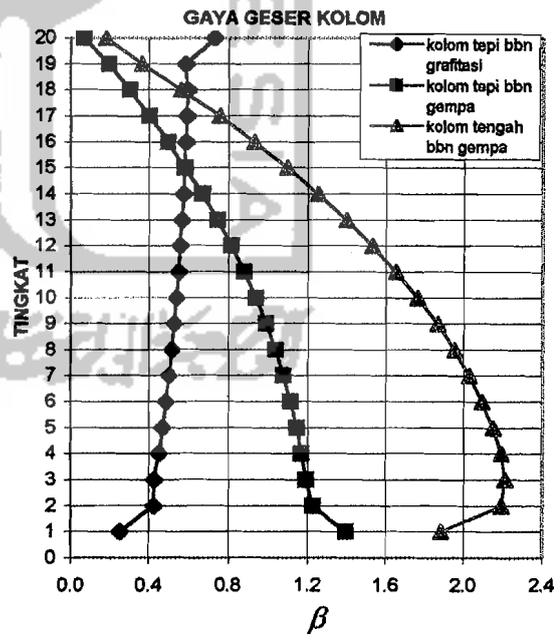
Gambar 7.17 gaya geser kolom struktur 8 lantai



Gambar 7.18 gaya geser kolom struktur 16 lantai



Gambar 7.19 Gaya geser kolom struktur 12 lantai



Gambar 7.20 gaya geser kolom struktur 20 lantai

### 7.2.3. Gaya aksial kolom.

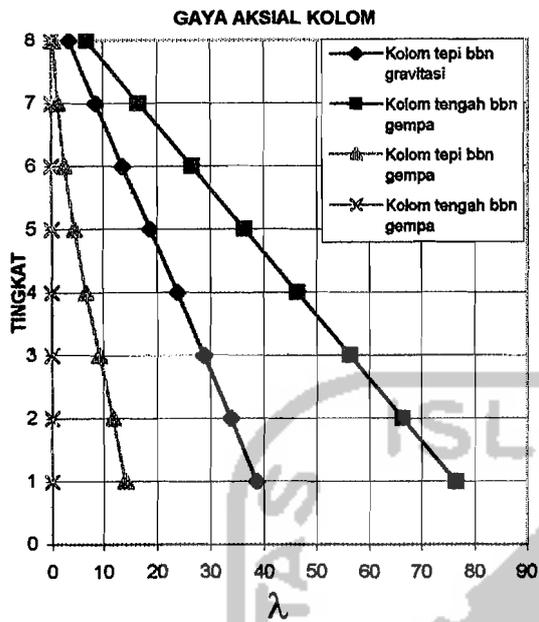
Gaya aksial kolom merupakan hasil analisis struktur dengan program Bantu SAP90, yang dinyatakan dengan  $\lambda$  seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 7.21. gaya aksial kolom struktur 8 tingkat

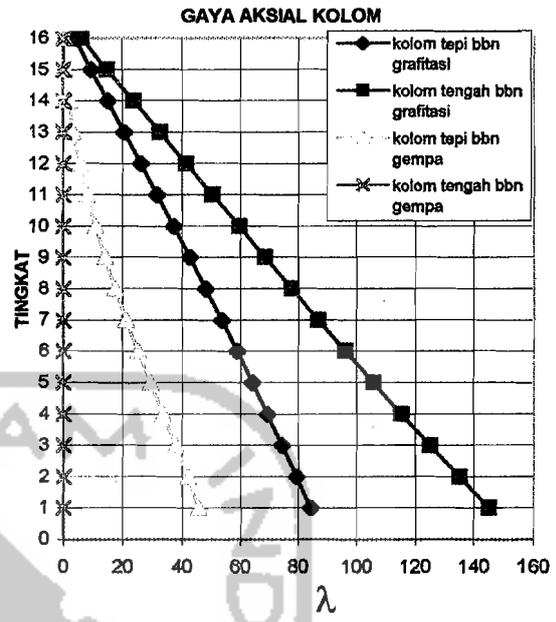
Tingkat	GAYA AKSIAL			
	Beban Gravitasi		Beban Gempa	
	Klm tepi	Klm tengah	Klm tepi	Klm tengah
1	38.717	76.565	14.094	0.0130
2	33.828	66.344	11.844	0.0100
3	28.858	56.285	9.214	0.0070
4	23.846	46.308	6.693	0.0040
5	18.799	36.403	4.458	0.0010
6	13.724	26.552	2.614	0.0020
7	8.629	16.742	1.246	0.0050
8	3.513	6.973	0.403	0.0040

Tabel 7.22. gaya aksial kolom struktur 12 tingkat

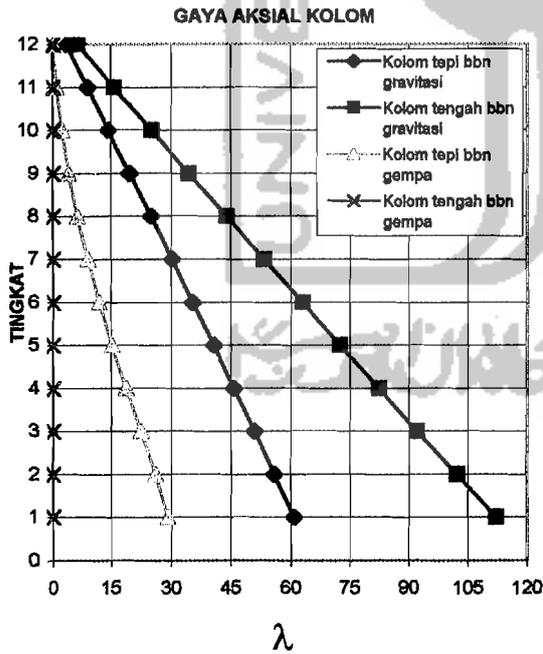
Tingkat	GAYA AKSIAL			
	Beban Gravitasi		Beban Gempa	
	Klm tepi	Klm tengah	Klm tepi	Klm tengah
1	60.8330	112.3340	29.0800	0.0110
2	55.9220	102.1550	26.0570	0.0090
3	50.9090	92.1830	22.4300	0.0070
4	45.8320	82.3360	18.7870	0.0060
5	40.6980	72.6040	15.2960	0.0040
6	35.5130	62.9730	12.0360	0.0020
7	30.2860	53.4280	9.0660	0.0010
8	25.0220	43.9570	6.4400	0.0010
9	19.7280	34.5440	4.2120	0.0030
10	14.4110	25.1780	2.4310	0.0040
11	9.0770	15.8470	1.1430	0.0060
12	3.7200	6.5590	0.3360	0.0050



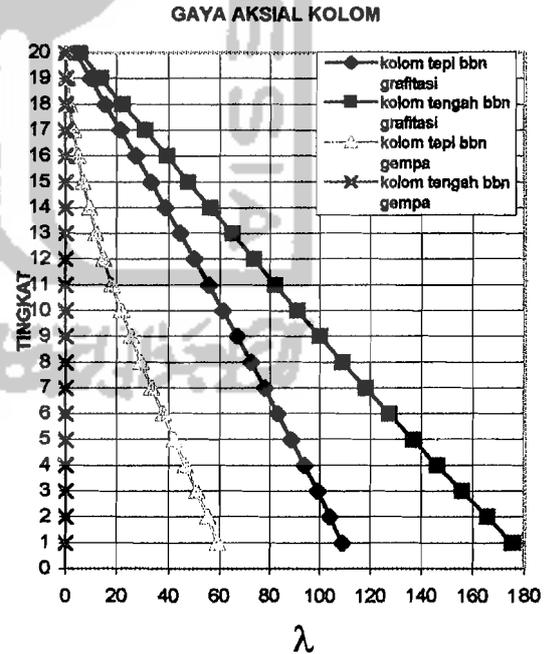
Gambar 7.21. Gaya aksial kolom struktur 8 tingkat



Gambar 7.22. gaya aksial kolom struktur 16 tingkat



Gambar 7.23. Gaya aksial kolom struktur 12 tingkat



Gambar 7.24. gambar aksial kolom struktur 20 tingkat

Dari grafik diatas tampak bahwa perbandingan antara gaya aksial beban gravitasi dan gaya aksial beban gempa semakin banyak tingkat relatif semakin besar. Karena struktur adalah struktur yang simetris, maka gaya aksial kolom tengah akibat beban gempa adalah nol.

Seperti halnya dengan analisis-analisis sebelumnya, gaya aksial kolom ini juga bisa dibuat iterasi tapi dengan syarat lebar bentang  $L = 2,5H$ , yaitu :

$$N = \lambda \cdot \gamma$$

dimana ;  $N$  = gaya aksial

$\lambda$  = koefisien aksial pada grafik

= koefisien arah sumbu x pada grafik aksial kolom

$$\gamma = \text{beban gravitasi} = \frac{q}{1 \text{ ton/m}}$$

dari grafik gaya aksial kolom sebelumnya, tampak bahwa gaya aksial akibat beban gravitasi lebih besar dari pada gaya aksial akibat beban gempa. untuk mengetahui seberapa besar rasio gaya aksial akibat beban gempa terhadap gaya aksial akibat beban gravitasi, maka dibuat perbandingan antara keduanya yang dinyatakan dalam koefisien  $\delta$ , yaitu

$$\delta = \frac{N_{\text{gempa}}}{N_{\text{gravitasi}}}$$

yang dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 7.25. koefisien  $\delta$  struktur 8 tingkat

Tingkat	$\delta$	Tingkat	$\delta$
1	0.3640	5	0.2371
2	0.3501	6	0.1905
3	0.3193	7	0.1444
4	0.2807	8	0.1147

Tabel 7.26. koefisien  $\delta$  struktur 12 tingkat

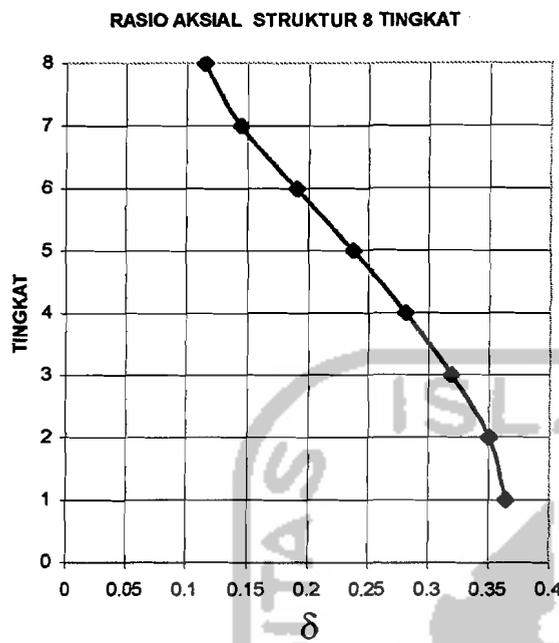
Tingkat	$\delta$	Tingkat	$\delta$
1	0.4780	7	0.2993
2	0.4660	8	0.2574
3	0.4406	9	0.2135
4	0.4099	10	0.1687
5	0.3758	11	0.1259
6	0.3389	12	0.0903

Tabel 7.27. koefisien  $\delta$  struktur 16 tingkat

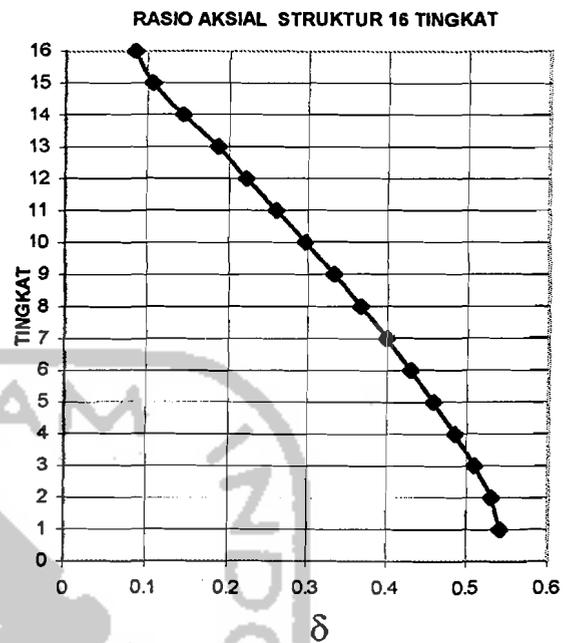
Tingkat	$\delta$	Tingkat	$\delta$
1	0.5420	9	0.3327
2	0.5313	10	0.2972
3	0.5102	11	0.2602
4	0.4853	12	0.2218
5	0.4582	13	0.1863
6	0.4293	14	0.1431
7	0.3988	15	0.1080
8	0.3666	16	0.0844

Tabel 7.28. koefisien  $\delta$  struktur 20 tingkat

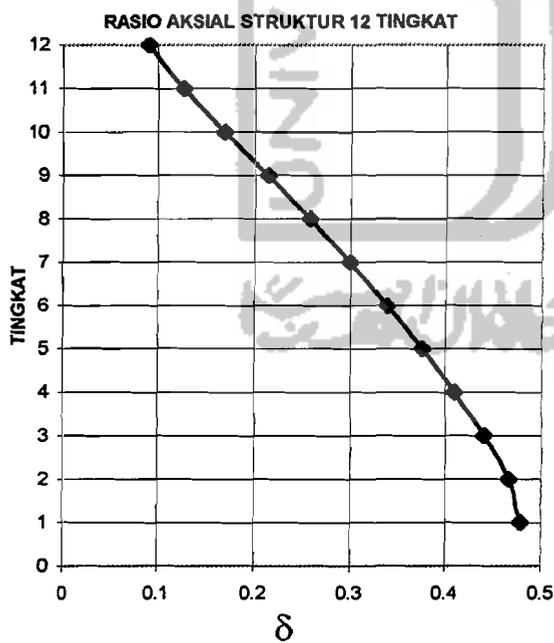
Tingkat	$\delta$	Tingkat	$\delta$
1	0.5435	11	0.3294
2	0.5346	12	0.3012
3	0.5177	13	0.2720
4	0.4981	14	0.2418
5	0.4771	15	0.2107
6	0.4551	16	0.1788
7	0.4320	17	0.1464
8	0.4079	18	0.1142
9	0.3828	19	0.0842
10	0.3566	20	0.0645



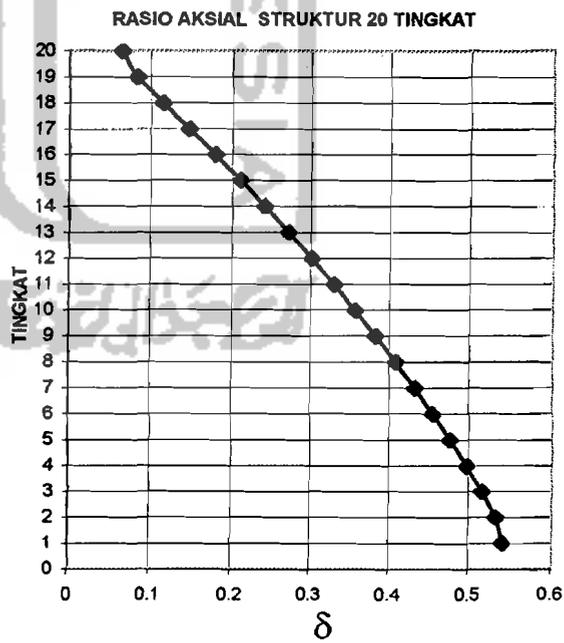
Gambar 7.25. Rasio aksial beban gempa dan beban gravitasi struktur 8 tingkat



Gambar 7.27. Rasio aksial beban gempa dan beban gravitasi struktur 16 tingkat



Gambar 7.26. Rasio aksial beban gempa dan beban gravitasi struktur 12 tingkat



Gambar 7.28. Rasio aksial beban gempa dan beban gravitasi struktur 20 tingkat

Terlihat pada tabel dan grafik sebelumnya bahwa semakin banyak tingkat yang dimiliki struktur, semakin besar nilai rasio antara beban gempa terhadap beban grafitasi. Hal ini tampak pada struktur dengan 20 tingkat yang memiliki nilai rasio paling besar dari pada struktur yang lainnya.

Dengan menggunakan perbandingan nilai koefisien gempa dasar, dapat diketahui rasio antara aksial kolom akibat beban gempa dan aksial kolom akibat beban gravitasi pada daerah gempa yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini, digunakan kolom lantai 1 daerah 2 keras sebagai contoh acuan untuk mencari nilai  $\delta$  pada struktur lantai 1 yang berada pada daerah gempa yang lainnya. Besarnya nilai  $c$  atau koefisien gempa dasar diperoleh dari tabel koefisien gempa dasar (SKBI-1.3.53.1987). Untuk besarnya nilai  $c$  struktur 8,12,16 dan 20 lantai dengan wilayah gempa dan jenis tanah dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 7.29. Koefisien gempa dasar struktur 16 lantai

Jumlah Lantai	Wilayah Gempa dan Jenis Tanah							
	1 keras	2 keras	3 keras	4 keras	1 lunak	2 lunak	3 lunak	4 lunak
8	0.0808	0.0628	0.0449	0.0269	0.1300	0.0900	0.0700	0.0500
12	0.0722	0.0561	0.0401	0.0241	0.1238	0.0857	0.0667	0.0476
16	0.0643	0.0500	0.0357	0.0214	0.1068	0.0739	0.0575	0.0411
20	0.0568	0.0442	0.0316	0.0190	0.0906	0.0628	0.0488	0.0349

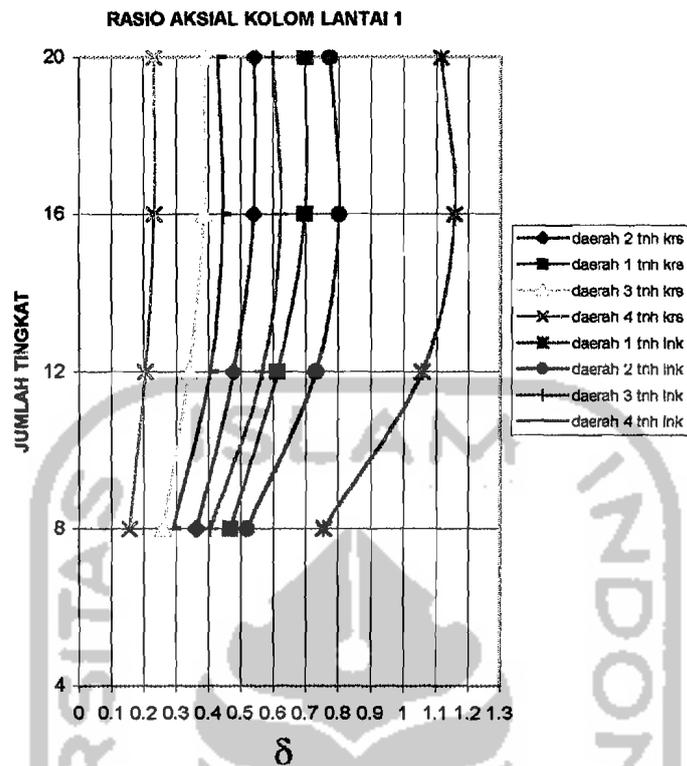
Dari tabel diatas, dapat dicari  $\delta$  pada daerah gempa dan jenis tanah yang dikehendaki, dengan menggunakan rumus

$$\delta = \frac{C}{C_{acuan}} \cdot \delta_{acuan}$$

Dimana :

$C_{acuan}$  = koefisien dasar gempa daerah gempa yang telah diketahui nilai  $\delta$ .

$C$  = koefisien dasar gempa pada daerah yang dicari

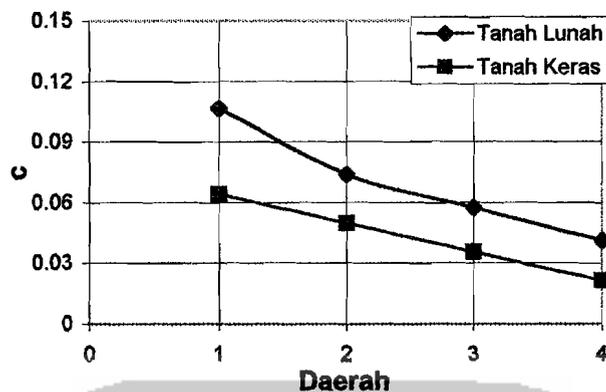


Gambar 7.29. Rasio gaya aksial akibat beban gempa dan beban gravitasi

**7.3 Rasio koefisien Gempa dasar.**

Tabel 7.31. koefisien gempa dasar

Daerah Gempa	Jenis Tanah	
	Lunak	Keras
1	0.1068	0.0643
2	0.0739	0.0500
3	0.0575	0.0357
4	0.0411	0.0214



Gambar 7.30 Koefisien Gempa Dasar

Dari gambar diatas jelas bahwa daerah 1 tanah lunak memiliki nilai C yang lebih besar, yang berdampak pada desain struktur portal yang berada pada daerah tersebut. Hal itu juga berpengaruh pada dimensi balok kolomnya, dan juga berdampak pada jumlah tulangan yang diperlukan dibanding daerah yang lainnya. Sebaliknya pada daerah 4 tanah keras diperoleh koefisien gempa yang paling kecil, sehingga jumlah tulangan, dimensi balok kolom sangat bertolak belakang dengan struktur yang berada pada daerah 1 tanah lunak.

Grafik koefisien tersebut diatas dapat dipakai sebagai acuan untuk menganalisa seberapa besar momen, gaya lintang dan gaya aksial suatu struktur 16 lantai di wilayah gempa yang lain di grafik dengan cara membandingkan koefisien C pada grafik dan tabel diatas. sebagai contoh :

Untuk mencari momen negatif balok lantai 2 pada daerah gempa 3 tanah lunak.

dari grafik dan tabel diatas didapat :

nilai C daerah gempa 2 tanah keras = 0,0500

nilai C daerah gempa 3 tanah lunak = 0,0575

Momen negatif lantai 2 daerah gempa 2 tanah keras = 164,941 t.m

Maka momen negatif balok lantai 2 daerah gempa 3 tanah lunak :

$$M_{1lunak}^{-} = \frac{C_{1lunak}}{C_{2keras}} M_{2keras}^{-} = \frac{0,0575}{0,0500} \cdot 164,941 = 189,68 \text{ t.m.}$$

jadi momen negatif balok lantai 2 daerah gempa 3 tanah lunak = 189,68 t.m.

Dari grafik koefisien gempa dasar (C) struktur 16 tingkat, dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan membandingkan nilai koefisien gempa dasar, secara tidak langsung dapat menganalisis gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur yang berada pada wilayah gempa lain yang mempunyai ukuran lebar dan tinggi struktur sama.

Sepertihalnya koefisien gempa dasar untuk struktur 16 tingkat, besarnya nilai koefisien gempa dasar diperoleh dari grafik koefisien gempa dasar (SKBI-1.3.53.1987). Untuk besarnya nilai C dengan wilayah gempa dan jenis tanah dengan variabel waktu getar struktur (T) dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

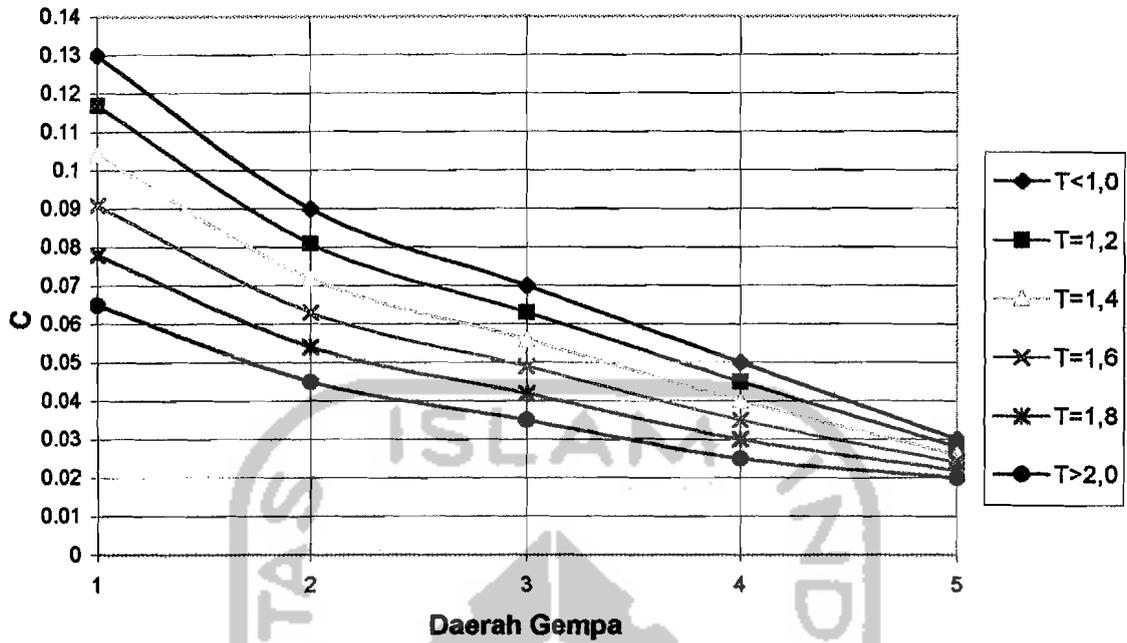
Tabel .7.32. Koefisien gempa dasar dengan tanah lunak

Daerah Gempa	Koefisien Gempa Dasar (C) tanah lunak					
	T > 1	T = 1,2	T = 1,4	T = 1,6	T = 1,8	T < 2
1	0.1300	0.1170	0.1040	0.0910	0.0780	0.0650
2	0.0900	0.0810	0.0720	0.0630	0.0540	0.0450
3	0.0700	0.0630	0.0560	0.0490	0.0420	0.0350
4	0.0500	0.0450	0.0400	0.0350	0.0300	0.0250
5	0.0300	0.0280	0.0260	0.0240	0.0220	0.0200

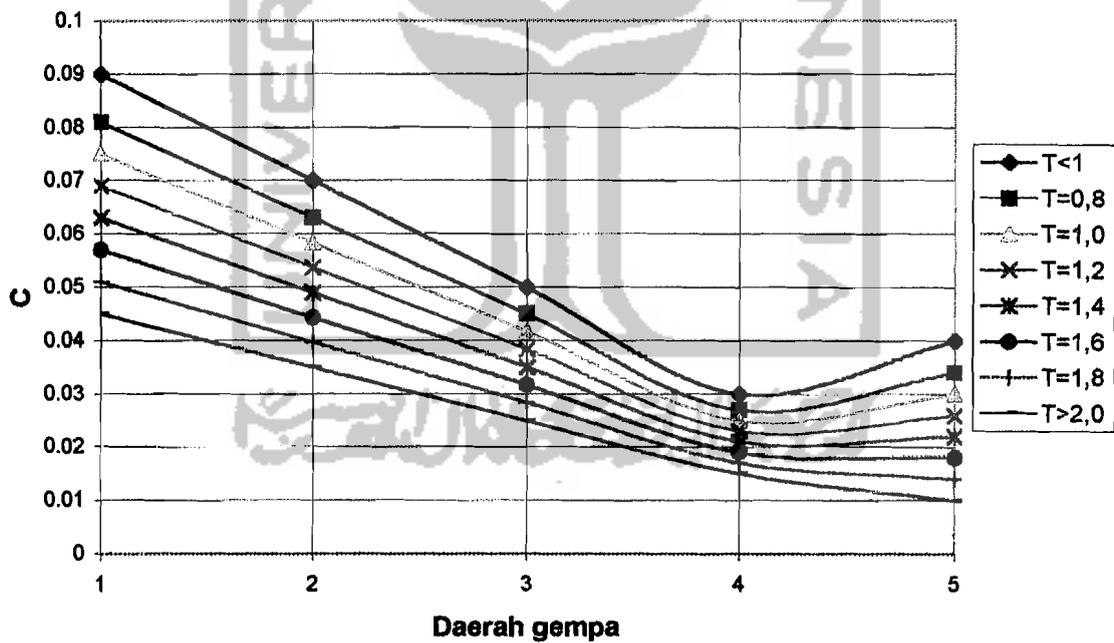
Tabel .7.33. Koefisien gempa dasar dengan tanah keras

Daerah Gempa	Koefisien Gempa Dasar (C) tanah keras							
	T > 0,5	T = 0,8	T = 1	T = 1,2	T = 1,4	T = 1,6	T = 1,8	T < 2
1	0.0900	0.0810	0.0750	0.0690	0.0630	0.0570	0.0510	0.0450
2	0.0700	0.0630	0.0583	0.0537	0.0490	0.0443	0.0397	0.0350
3	0.0500	0.0450	0.0417	0.0383	0.0350	0.0317	0.0283	0.0250
4	0.0300	0.0270	0.0250	0.0230	0.0210	0.0190	0.0170	0.0150
5	0.0400	0.0340	0.0300	0.0260	0.0220	0.0180	0.0140	0.0100

Atau, lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar berikut ini:



Gambar 7.31. Koefisien gempa dasar tanah lunak



Gambar 7.32. Koefisien gempa dasar tanah keras

Dari grafik dan tabel diatas, dapat dipakai acuan untuk menganalisa seberapa besar momen, gaya lintang dan gaya aksial suatu struktur dengan hanya

membandingkan nilai periode getar ( $T$ ) pada masing-masing struktur, atau lebih mudahnya membandingkan nilai koefisien gempa dasar ( $C$ ) pada grafik dan tabel diatas, dengan menggunakan rumus estimasi :

$$g = \frac{C}{C_{acuan}} \cdot g_{acuan}$$

dimana

- $g$  = nilai gaya dalam yang akan dicari ( antara lain momen, gaya lintang, gaya aksial)
- $C$  = nilai koefisien gempa dasar yang akan dicari gaya-gaya dalamnya
- $C_{acuan}$  = nilai koefisien gempa dasar yang telah diketahui besarnya gaya dalam yang terjadi
- $g$  = besarnya gaya dalam suatu struktur yang telah diketahui yang telah diketahui

Sebagai contoh, misalnya mencari gaya lintang balok lantai 2 struktur yang berada pada daerah gempa 1 tanah keras dengan nilai  $T = 2$ . Sebelumnya telah diketahui gaya lintang balok lantai 2 yang terjadi pada daerah gempa 2 tanah keras adalah 522,034 kN. Maka ;

$$\text{nilai } C_{acuan} = C \text{ daerah gempa 2 tanah keras} = 0,0500$$

$$\text{nilai } C \text{ daerah gempa 1 tanah keras yang didapat dari gambar 7.32} = 0,0700$$

$$\text{nilai } g_{acuan} = 522,034 \text{ kN}$$

$$g = \frac{C}{C_{acuan}} \cdot g_{acuan} = \frac{0,0700}{0,0500} \cdot 522,034 = 730,8476 \text{ kN}$$

jadi besarnya gaya lintang yang terjadi pada lantai 2 struktur yang terlelak pada daerah gempa 1 tanah keras = 730,8476 kN

## 7.4 Hasil Desain Struktur.

### 7.4.1 Momen Analisa Balok.

Momen rencana balok yang digunakan dalam desain didapatkan dari analisis struktur dengan menggunakan program Bantu SAP90.

Tabel 7.34 Momen Analisa Struktur Balok Daerah 2 Tanah Keras

Balok Lantai	Momen Balok As Kolom (Ton.m)		Momen Balok Teredistribusi (Ton.m)		Momen Balok Muka kolom (Ton.m)	
	neg	pos	Neg	pos	neg	pos
1	-136.787	44.135	-123	61.628	-108.260	65.018
2	-164.941	71.887	-156	79.747	-140.022	81.092
3	-172.869	79.727	-163	85.473	-146.760	86.309
4	-177.025	83.857	-168	85.830	-151.572	86.452
5	-162.676	70.531	-145	80.589	-130.519	82.182
6	-162.408	70.422	-143	80.843	-128.589	82.501
7	-159.407	67.536	-140	76.005	-125.694	77.957
8	-156.868	65.025	-138	71.255	-123.764	73.460
9	-139.116	48.143	-116	60.135	-103.539	63.306
10	-133.928	43.227	-109	56.744	-96.767	60.278
11	-126.443	35.854	-99	50.872	-87.092	54.962
12	-118.734	28.224	-89	44.738	-77.417	49.393
13	-100.650	10.718	-75	25.584	-64.768	30.940
14	-90.406	0.941	-64	17.151	-54.098	23.139
15	-78.908	-10.400	-56	2.084	-46.338	8.822
16	-43.829	1.120	-31	4.425	-22.088	11.899

Tabel 7.35 Momen Analisa Struktur Balok Daerah 1 Tanah Lunak

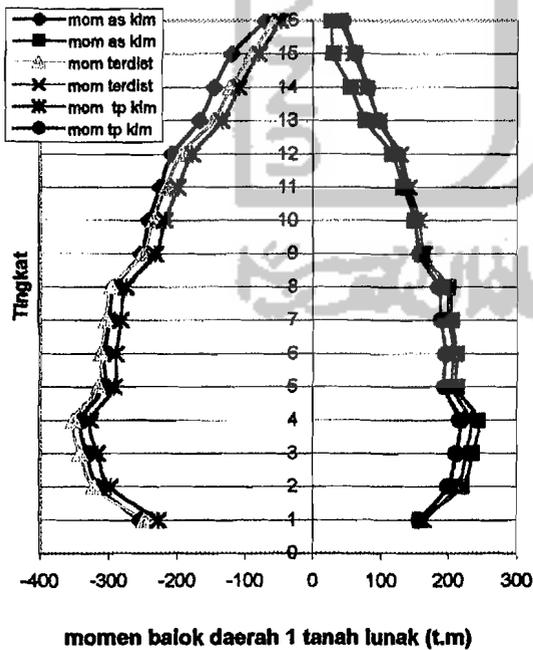
Balok Lantai	Momen Balok As Kolom (Ton.m)		Momen Balok Teredistribusi (Ton.m)		Momen Balok Muka kolom (Ton.m)	
	neg	pos	neg	pos	neg	pos
1	-253.207	158.407	-248	164.052	-227.332	156.284
2	-313.900	218.406	-320	212.250	-296.272	199.074
3	-330.512	235.032	-340	225.485	-315.422	210.813
4	-338.716	243.136	-350	231.782	-324.997	216.377
5	-306.550	212.666	-313	206.163	-291.074	194.151
6	-305.760	211.926	-311	206.649	-289.154	194.701
7	-298.329	204.757	-303	200.049	-281.474	188.721
8	-292.031	198.509	-295	195.489	-273.794	184.695
9	-253.019	160.912	-250	163.890	-231.934	156.670
10	-241.664	149.845	-235	156.486	-217.497	150.162
11	-224.556	133.016	-216	141.552	-199.209	136.585
12	-207.041	115.684	-194	128.680	-178.034	125.109
13	-167.394	77.066	-147	97.421	-133.873	96.880
14	-145.222	55.396	-121	79.644	-108.783	80.745
15	-119.600	30.031	-90	59.384	-78.868	62.407
16	-69.936	27.080	-58	38.557	-47.988	43.561

Tabel 7.36. Momen Analisa Struktur Balok Daerah 2 Tanah Lunak

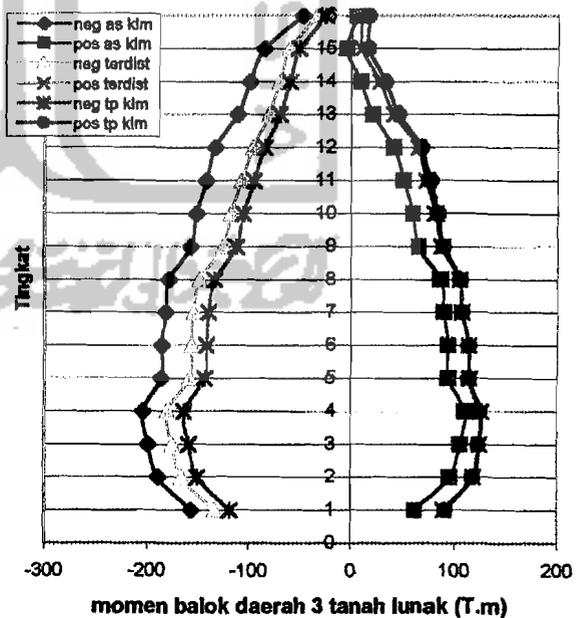
Balok Lantai	Momen Balok As Kolom (Ton.m)		Momen Balok Teredistribusi (Ton.m)		Momen Balok Muka kolom (Ton.m)	
	neg	pos	neg	pos	neg	pos
1	-188.969	95.385	-182	102.294	-184.592	100.986
2	-232.014	137.855	-237	132.830	-217.392	127.887
3	-244.211	150.098	-253	141.268	-232.752	135.287
4	-250.532	156.478	-260	146.915	-239.472	140.396
5	-228.290	135.445	-230	133.698	-211.969	129.202
6	-228.054	135.346	-228	135.374	-210.044	130.891
7	-223.348	130.833	-226	128.156	-208.119	124.042
8	-219.363	126.900	-220	126.227	-202.344	122.430
9	-191.926	100.540	-187	105.436	-171.764	103.805
10	-184.133	93.050	-178	99.166	-163.079	98.108
11	-172.524	81.631	-163	91.140	-148.604	90.945
12	-160.569	69.812	-147	83.351	-133.164	84.049
13	-132.459	42.498	-112	62.931	-100.378	65.433
14	-117.005	27.489	-92	52.512	-81.028	56.079
15	-99.325	9.984	-70	39.138	-59.743	43.944
16	-57.404	14.893	-46	25.978	-36.523	32.084

Tabel 7.37 Momen Analisa Struktur Balok Daerah 3 Tanah Lunak

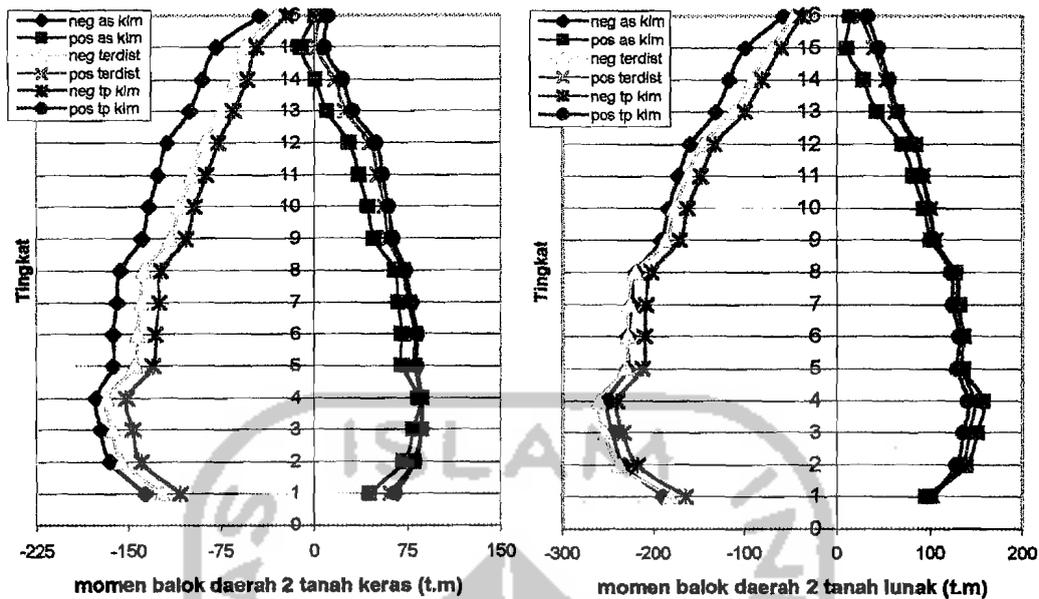
Balok Lantai	Momen Balok As Kolom (Ton.m)		Momen Balok Teredistribusi (Ton.m)		Momen Balok Muka kolom (Ton.m)	
	neg	pos	neg	pos	neg	pos
1	-155.967	62.953	-133	89.650	-117.885	91.519
2	-189.396	95.890	-166	118.226	-149.647	117.632
3	-198.647	105.097	-175	124.615	-158.310	123.406
4	-203.371	109.776	-180	126.090	-163.122	124.622
5	-186.066	93.791	-158	114.144	-143.064	113.991
6	-185.642	93.320	-156	113.971	-141.134	113.899
7	-181.839	89.652	-154	106.550	-139.204	106.832
8	-178.625	86.465	-148	104.447	-133.414	105.032
9	-157.424	66.236	-125	87.533	-112.247	89.429
10	-151.191	60.270	-118	82.048	-105.474	84.382
11	-142.085	51.302	-107	73.960	-94.832	76.961
12	-132.742	42.049	-96	65.566	-84.189	69.247
13	-111.216	21.173	-80	41.602	-69.618	46.274
14	-98.988	9.429	-70	28.224	-59.918	33.657
15	-85.126	-4.253	-60	10.425	-50.218	16.761
16	-47.699	4.883	-34	9.011	-24.998	16.238



Gambar 7.33. Momen balok daerah 1 tanah lunak



Gambar 7.34 Momen balok daerah 3 tanah lunak



Gambar 7.35. Momen balok daerah 2 tanah keras

Gambar 7.36 Momen balok daerah 2 tanah lunak

Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa momen rencana yang terbesar terjadi pada struktur yang berada di daerah 1 tanah lunak, dan momen rencana yang paling kecil adalah momen struktur yang berada pada daerah 2 tanah keras.

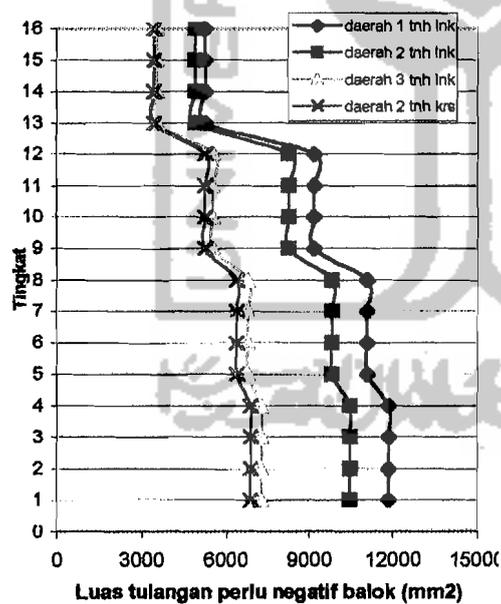
Hal ini sangat berpengaruh pada desain tulangan balok yang secara langsung juga mempengaruhi desain kolom.

#### 7.4.2. Desain Balok

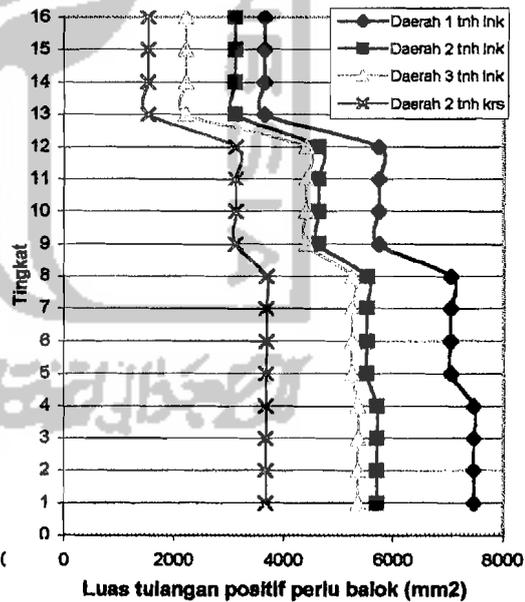
Momen yang digunakan dalam mendesain adalah momen yang berada pada tepi kolom yang sebelumnya telah di kalikan faktor reduksi. Luas tulangan perlu balok ditunjukkan dalam tabel berikut ini,

Tabel 7.38. Luas Tulangan Longitudinal perlu Balok

Lantai	Luas tulangan balok perludengan kombinasi momen pada tepi kolom (mm <sup>2</sup> )							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Neg	Pos	neg	pos	neg	pos	neg	pos
1	11823.5	7475	10455	5712	7280	5360	6876	3672
2	11823.5	7475	10455	5712	7280	5360	6876	3672
3	11823.5	7475	10455	5712	7280	5360	6876	3672
4	11823.5	7475	10455	5712	7280	5360	6876	3672
5	11053.25	7039.5	9816	5520	6787.5	5250	6378.75	3678.75
6	11053.25	7039.5	9816	5520	6787.5	5250	6378.75	3678.75
7	11053.25	7039.5	9816	5520	6787.5	5250	6378.75	3678.75
8	11053.25	7039.5	9816	5520	6787.5	5250	6378.75	3678.75
9	9184.5	5733	8257.5	4635	5530	4410	5229	3118.5
10	9184.5	5733	8257.5	4635	5530	4410	5229	3118.5
11	9184.5	5733	8257.5	4635	5530	4410	5229	3118.5
12	9184.5	5733	8257.5	4635	5530	4410	5229	3118.5
13	5248.75	3646.5	4914	3108	3542.5	2210	3422.25	1521
14	5248.75	3646.5	4914	3108	3542.5	2210	3422.25	1521
15	5248.75	3646.5	4914	3108	3542.5	2210	3422.25	1521
16	5248.75	3646.5	4914	3108	3542.5	2210	3422.25	1521



Gambar 7.37. Luas tulangan perlu negatif balok



Gambar 7.38. Luas tulangan perlu positif balok

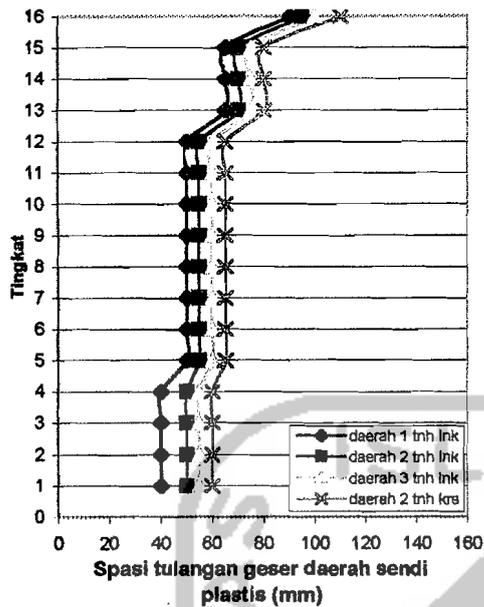
Tampak dari grafik diatas bahwa luas tulangan longitudinal perlu balok sangat dipengaruhi oleh momen rencana. Di atas terlihat bahwa luasan tulangan longitudinal perlu balok daerah 1 tanah lunak memerlukan As yang lebih besar ladi pada yang lainnya. Hal ini sangat berpengaruh pada ukuran balok yang di desain dengan rasio penulangan balok 1 % sampai dengan 3 %.

#### 7.4.3. Desain Tulangan Geser Balok

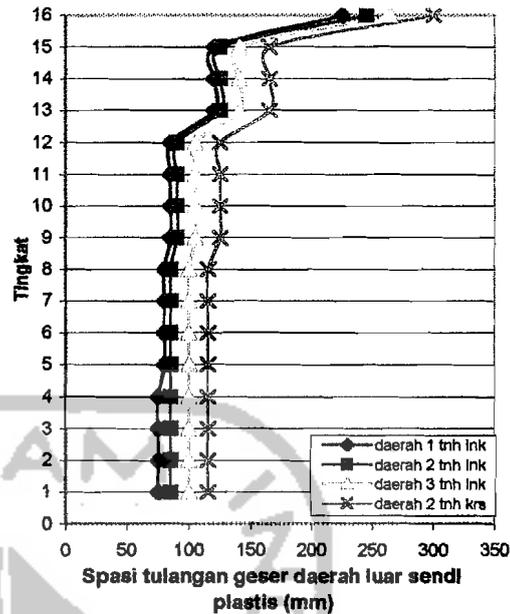
Pada saat balok menerima beban lentur, balok juga menahan gaya geser yang diakibatkan oleh lenturan tersebut. Oleh karenanya diperlukan tulangan geser dengan persyaratan tertentu sebagaimana telah disebutkan sebelumnya. Jumlah Tulangan geser balok diberikan dalam tabel dan Grafik berikut.

Tabel 7.39. Tulangan Geser Balok

	Jarak Tulangan Geser pada							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Daerah s. Plastis	> Daerah s. plastis	Daerah s. Plastis	> Daerah s. plastis	Daerah s. Plastis	> Daerah s. plastis	Daerah s. Plastis	> Daerah s. plastis
1	Ø12-40	Ø12-75	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-100	Ø12-60	Ø12-115
2	Ø12-40	Ø12-75	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-100	Ø12-60	Ø12-115
3	Ø12-40	Ø12-75	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-100	Ø12-60	Ø12-115
4	Ø12-40	Ø12-75	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-100	Ø12-60	Ø12-115
5	Ø12-50	Ø12-80	Ø12-55	Ø12-85	Ø12-60	Ø12-100	Ø12-65	Ø12-115
6	Ø12-50	Ø12-80	Ø12-55	Ø12-85	Ø12-60	Ø12-100	Ø12-65	Ø12-115
7	Ø12-50	Ø12-80	Ø12-55	Ø12-85	Ø12-60	Ø12-100	Ø12-65	Ø12-115
8	Ø12-50	Ø12-80	Ø12-55	Ø12-85	Ø12-60	Ø12-100	Ø12-65	Ø12-115
9	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-90	Ø12-60	Ø12-105	Ø12-65	Ø12-125
10	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-90	Ø12-60	Ø12-105	Ø12-65	Ø12-125
11	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-90	Ø12-60	Ø12-105	Ø12-65	Ø12-125
12	Ø12-50	Ø12-85	Ø12-55	Ø12-90	Ø12-60	Ø12-105	Ø12-65	Ø12-125
13	Ø12-65	Ø12-120	Ø12-70	Ø12-125	Ø12-75	Ø12-140	Ø12-80	Ø12-165
14	Ø12-65	Ø12-120	Ø12-70	Ø12-125	Ø12-75	Ø12-140	Ø12-80	Ø12-165
15	Ø12-65	Ø12-120	Ø12-70	Ø12-125	Ø12-75	Ø12-140	Ø12-80	Ø12-165
16	Ø12-90	Ø12-225	Ø12-95	Ø12-245	Ø12-100	Ø12-265	Ø12-110	Ø12-300



Gambar 7.39. Spasi tulangan geser daerah sendi plastis



Gambar 7.40. Spasi tulangan geser luar daerah sendi plastis

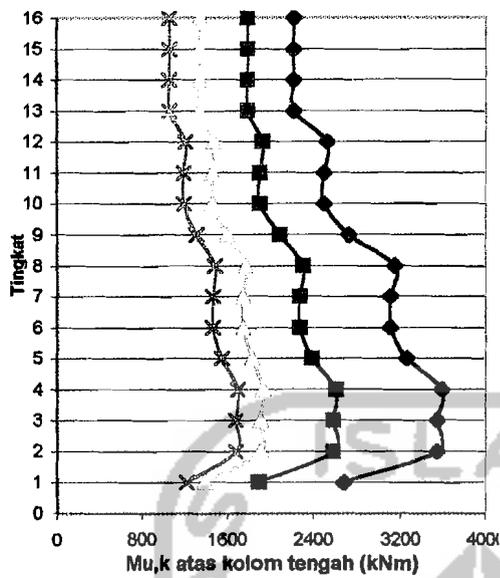
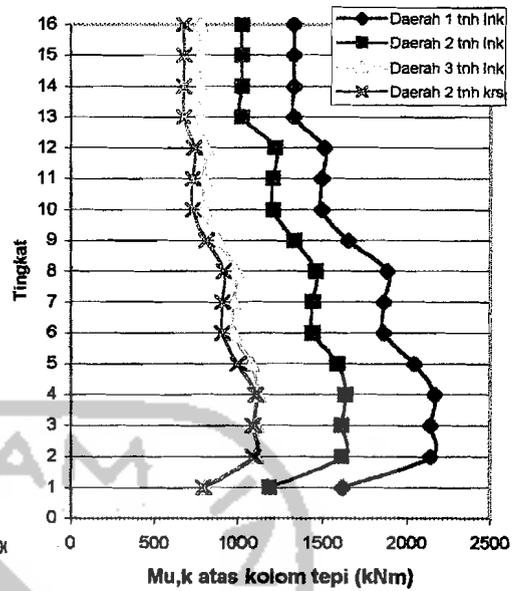
Berdasarkan tabel dan gambar tulangan geser tersebut, terlihat bahwa jarak spasi tulangan geser balok pada struktur pada daerah 1 tanah lunak relatif lebih kecil dibandingkan dengan jarak spasi tulangan geser yang berada di daerah 2 dan 3. Hal ini berdasarkan perhitungan gaya geser ultimit balok yang berbanding lurus dengan besarnya momen kapasitas balok, sehingga pada struktur yang berada pada daerah 2 tanah keras yang jarak spasi gesernya relatif lebih besar dibanding tinjauan momen balok lainnya. Oleh karena itu momen kapasitas balok relatif lebih besar akan menghasilkan gaya geser yang lebih besar dan jarak tulangan geser yang lebih rapat.

#### 7.4.4. Desain Kolom

Momen rencana kolom didapat dengan mengalikan momen kapasitas balok dengan koefisien tertentu sesuai dengan SK-SNI T-15-1991-03. momen kapasitas balok didapatkan dengan mengalikan momen nominal aktual balok dengan koefisien sebesar 1,25 untuk menjamin terbentuknya *strong column, weak beam*.

Tabel 7.40.  $M_{u,k}$  atas rencana kolom

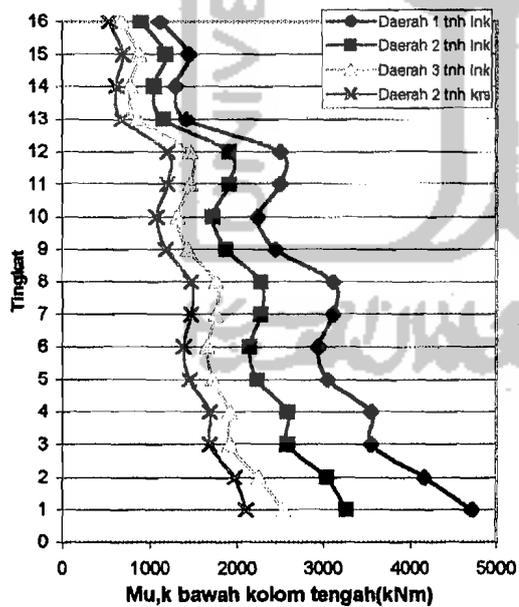
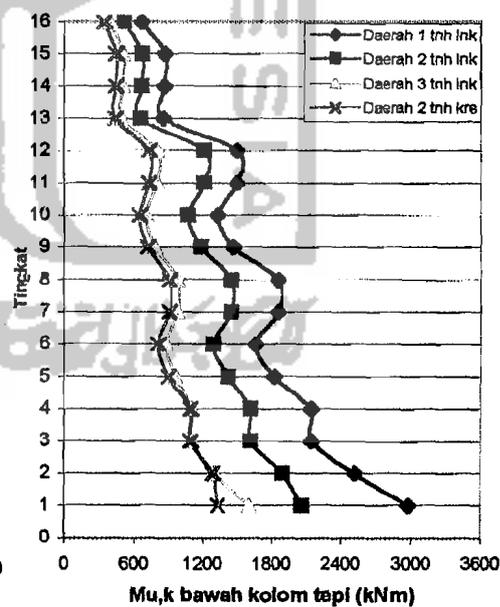
Lantai	Momen rencana kolom ujung atas pada daerah							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah
1	1616.008	2677.272	1185.048	1894.671	804.2779	1392.456	793.0387	1220.805
2	2140.121	3545.572	1615.447	2582.791	1106.51	1915.71	1091.047	1679.556
3	2140.121	3545.572	1615.447	2582.791	1106.51	1915.71	1091.047	1679.556
4	2165.104	3586.956	1634.305	2612.938	1119.427	1938.07	1103.784	1699.16
5	2044.723	3260.173	1588.22	2386.092	1080.344	1837.152	1002.875	1546.485
6	1861.242	3110.503	1445.105	2275.609	982.8667	1751.861	907.4693	1466.738
7	1861.242	3110.503	1445.105	2275.609	982.8667	1751.861	907.4693	1466.738
8	1882.633	3146.761	1461.713	2302.134	994.1628	1772.281	917.8989	1483.835
9	1651.866	2725.87	1334.901	2086.982	882.3203	1595.783	810.7284	1310.73
10	1494.74	2494.383	1207.442	1908.988	797.9746	1459.5	729.295	1192.363
11	1494.74	2494.383	1207.442	1908.988	797.9746	1459.5	729.295	1192.363
12	1511.662	2522.621	1221.111	1930.598	807.0086	1476.022	737.5514	1205.86
13	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842
14	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842
15	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842
16	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842

Gambar 7.41  $M_{u,k}$  atas kolom tengahGambar 7.42.  $M_{u,k}$  atas kolom tepi

Gambar diatas menunjukkan bahwa momen rencana kolom ujung atas ( $M_{u,k}$  atas) dengan tinjauan struktur di daerah 1 tanah lunak akan menghasilkan momen kolom yang relatif lebih besar dibanding struktur yang berada pada daerah 2 dan 3. Momen rencana kolom ujung atas maksimum terjadi tingkat 4.

Tabel 7.41.  $M_{u,k}$  bawah rencana kolom

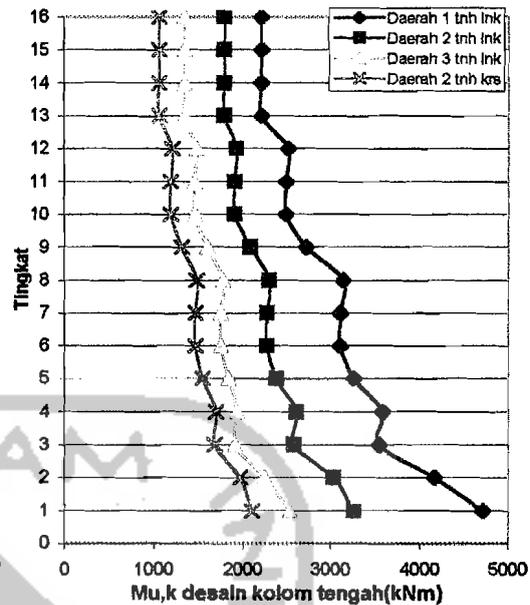
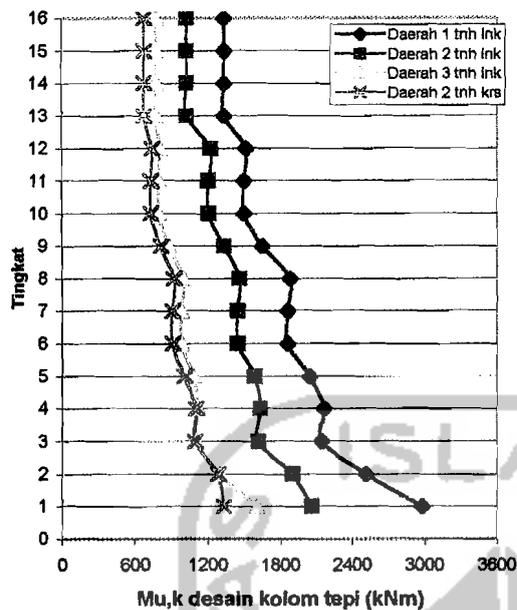
Lantai	Momen rencana kolom ujung bawah pada daerah							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah
1	2976.015	4712.211	2060.289	3262.255	1602.447	2537.315	1328.855	2104.4
2	2514.343	4165.545	1897.924	3034.414	1299.995	2250.688	1281.828	1973.241
3	2140.121	3545.572	1615.447	2582.791	1106.51	1915.71	1091.047	1679.556
4	2140.121	3545.572	1615.447	2582.791	1106.51	1915.71	1091.047	1679.556
5	1823.926	3048.145	1416.717	2230.91	963.6838	1717.672	894.5805	1445.908
6	1660.284	2932.969	1289.077	2145.727	876.7468	1651.872	809.49	1383.023
7	1861.242	3110.503	1445.105	2275.609	982.8667	1751.861	907.4693	1466.738
8	1861.242	3110.503	1445.105	2275.609	982.8667	1751.861	907.4693	1466.738
9	1465.248	2444.764	1184.092	1871.762	782.6409	1431.218	719.137	1175.56
10	1323.732	2239.991	1069.303	1714.297	706.6815	1310.651	645.8592	1070.758
11	1494.74	2494.383	1207.442	1908.988	797.9746	1459.5	729.295	1192.363
12	1494.74	2494.383	1207.442	1908.988	797.9746	1459.5	729.295	1192.363
13	849.8263	1412.824	655.5133	1143.922	492.9128	859.6218	433.6998	679.4834
14	861.0658	1285.699	663.9257	1040.59	499.178	781.8765	436.87	614.7339
15	866.6612	1440.81	668.2401	1166.13	502.4218	876.2045	439.7089	688.8973
16	666.6625	1108.316	514.0308	897.0232	386.4783	674.0035	338.2376	529.921

Gambar 7.43  $M_{u,k}$  bawah kolom tengahGambar 7.44  $M_{u,k}$  bawah kolom tepi

Dari gambar di atas dapat diambil kesimpulan bahwa momen maksimum kolom ujung bawah terletak pada kolom lantai 1. hal ini disebabkan karena pada kolom ujung bawah momen yang bekerja atau dipikul oleh kolom ujung bawah adalah momen murni gempa yang telah direduksi.

Tabel 7.42. Momen rencana desain

Lantai	Momen rencana kolom ujung bawah pada daerah							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah
1	2976.015	4712.211	2060.289	3262.255	1602.447	2537.315	1328.855	2104.4
2	2514.343	4165.545	1897.924	3034.414	1299.995	2250.688	1281.828	1973.241
3	2140.121	3545.572	1615.447	2582.791	1106.51	1915.71	1091.047	1679.556
4	2165.104	3586.956	1634.305	2612.938	1119.427	1938.07	1103.784	1699.16
5	2044.723	3260.173	1588.22	2386.092	1080.344	1837.152	1002.875	1546.485
6	1861.242	3110.503	1445.105	2275.609	982.8667	1751.861	907.4693	1466.738
7	1861.242	3110.503	1445.105	2275.609	982.8667	1751.861	907.4693	1466.738
8	1882.633	3146.761	1461.713	2302.134	994.1628	1772.281	917.8989	1483.835
9	1651.866	2725.87	1334.901	2086.982	882.3203	1595.783	810.7284	1310.73
10	1494.74	2494.383	1207.442	1908.988	797.9746	1459.5	729.295	1192.363
11	1494.74	2494.383	1207.442	1908.988	797.9746	1459.5	729.295	1192.363
12	1511.662	2522.621	1221.111	1930.598	807.0086	1476.022	737.5514	1205.86
13	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842
14	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842
15	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842
16	1333.325	2216.631	1028.062	1794.046	772.9567	1348.007	676.4752	1059.842

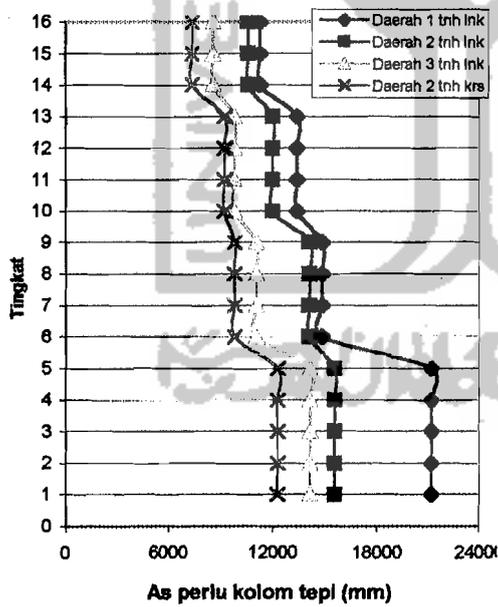


Gambar 7.45  $M_{u,k}$  desain kolom tepi      Gambar 7.46  $M_{u,k}$  desain kolom tengah

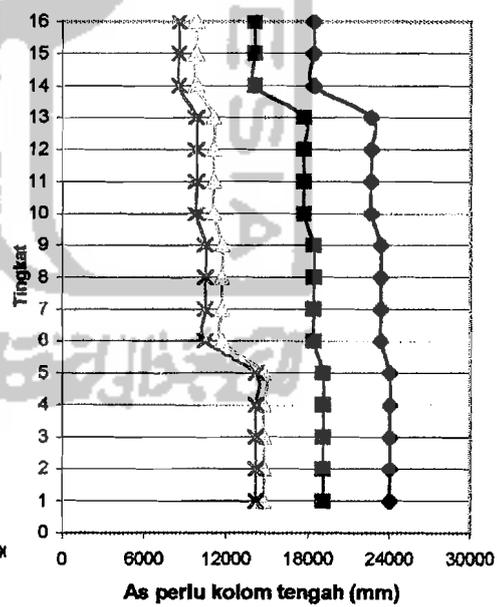
Untuk desain kolom momen rencana ( $M_{u,k}$ ) yang digunakan adalah momen yang terbesar antara  $M_{u,k}$  atas dan  $M_{u,k}$  bawah. Hal ini dilakukan untuk menahan semua momen yang terjadi antara momen ujung atas dan momen ujung bawah. Pada prinsipnya penentuan momen rencana kolom haruslah dikomparasikan antara hasil analisa *overstreng* elemen dengan hasil analisa secara keseluruhan. Hal ini untuk mengantisipasi terjadinya perencanaan *under capacity* dimana kapasitas elemen yang direncanakan memiliki kekuatan dibawah kebutuhan gaya yang harus didukung.

Tabel 7.43 luasan tulangan kolom

Lantai	Luas tulangan kolom pada							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Kolom		Kolom		Kolom		Kolom	
	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah
1	21205.74	24033.17	15550.88	19085.17	14162.3	14778.05	12315.04	14162.3
2	21205.74	24033.17	15550.88	19085.17	14162.3	14778.05	12315.04	14162.3
3	21205.74	24033.17	15550.88	19085.17	14162.3	14778.05	12315.04	14162.3
4	21205.74	24033.17	15550.88	19085.17	14162.3	14778.05	12315.04	14162.3
5	21205.74	24033.17	15550.88	19085.17	14162.3	14778.05	12315.04	14162.3
6	14844.02	23326.31	14137.16	18378.31	11083.54	11699.29	9852.032	10467.78
7	14844.02	23326.31	14137.16	18378.31	11083.54	11699.29	9852.032	10467.78
8	14844.02	23326.31	14137.16	18378.31	11083.54	11699.29	9852.032	10467.78
9	14844.02	23326.31	14137.16	18378.31	11083.54	11699.29	9852.032	10467.78
10	13430.3	22619.46	12016.59	17671.45	9852.032	11083.54	9236.28	9852.032
11	13430.3	22619.46	12016.59	17671.45	9852.032	11083.54	9236.28	9852.032
12	13430.3	22619.46	12016.59	17671.45	9852.032	11083.54	9236.28	9852.032
13	13430.3	22619.46	12016.59	17671.45	9852.032	11083.54	9236.28	9852.032
14	11309.73	18378.31	10602.87	14137.16	8620.528	9852.032	7389.024	8620.528
15	11309.73	18378.31	10602.87	14137.16	8620.528	9852.032	7389.024	8620.528
16	11309.73	18378.31	10602.87	14137.16	8620.528	9852.032	7389.024	8620.528



Gambar 7.47. As perlu kolom tepi



Gambar 7.48. As perlu kolom tengah

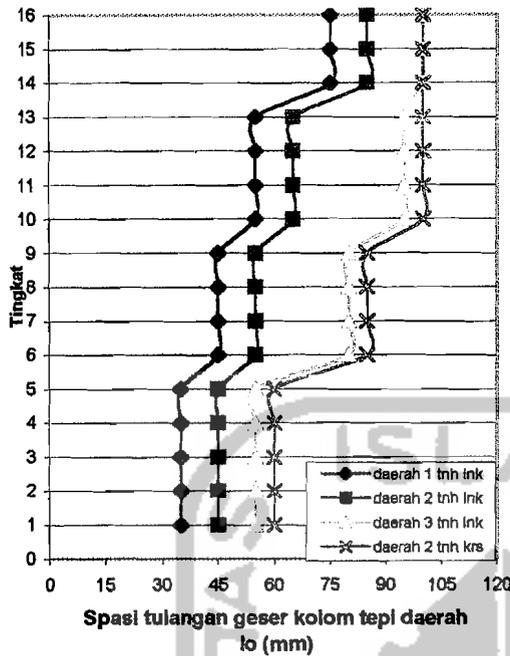
Dari grafik diatas dapt dilihat bahwa luasan tulangan kolom daerah 1 tanah lunak untuk kolom tepi dan kolom tengah relatif lebih besar dibanding daerah 2 dan 3 . hal ini sebanding dengan luasan perlu penulangan balok. Untuk penulangan kolom menggunakan rasio penulangan kolom terhadap luasan dimensi ( $A_g$ ) sekitar 3 % sampai dengan 6 %.

#### 7.4.5. Spasi Tulangan Geser Kolom

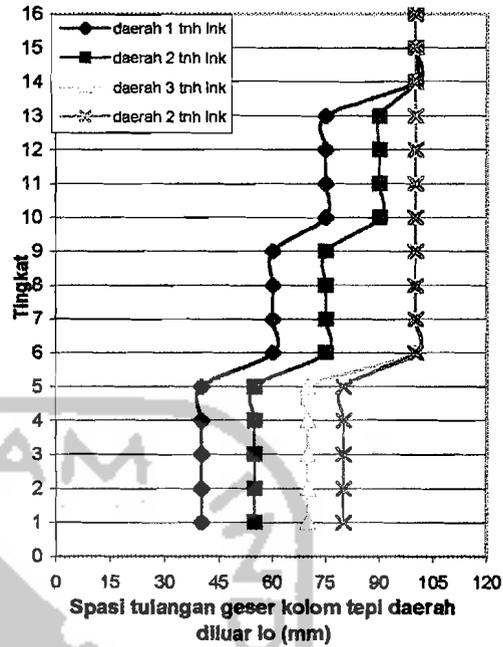
Spasi tulangan geser kolom sebagaimana spasi tulangan geser pada balok, dibagi menjadi 2 macam, yaitu spasi geser kolom daerah I<sub>o</sub> dan spasi geser kolom diluar daerah I<sub>o</sub>. Diameter dan spasi tulangan geser kolom terpakai diberikan dalam teabel berikut ini,

Tabel 7.44 Spasi tulangan geser kolom tepi.

Lantai	Tulangan geser Kolom tepi pada							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Kolom		Kolom		Kolom		Kolom	
	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah
1	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-60	2Ø12-80
2	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-60	2Ø12-80
3	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-60	2Ø12-80
4	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-60	2Ø12-80
5	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-60	2Ø12-80
6	2Ø12-45	2Ø12-60	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-80	2Ø12-100	2Ø12-85	2Ø12-100
7	2Ø12-45	2Ø12-60	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-80	2Ø12-100	2Ø12-85	2Ø12-100
8	2Ø12-45	2Ø12-60	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-80	2Ø12-100	2Ø12-85	2Ø12-100
9	2Ø12-45	2Ø12-60	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-80	2Ø12-100	2Ø12-85	2Ø12-100
10	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-65	2Ø12-90	2Ø12-95	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100
11	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-65	2Ø12-90	2Ø12-95	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100
12	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-65	2Ø12-90	2Ø12-95	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100
13	2Ø12-55	2Ø12-75	2Ø12-65	2Ø12-90	2Ø12-95	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100
14	2Ø12-75	2Ø12-100	2Ø12-85	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100
15	2Ø12-75	2Ø12-100	2Ø12-85	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100
16	2Ø12-75	2Ø12-100	2Ø12-85	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100	2Ø12-100



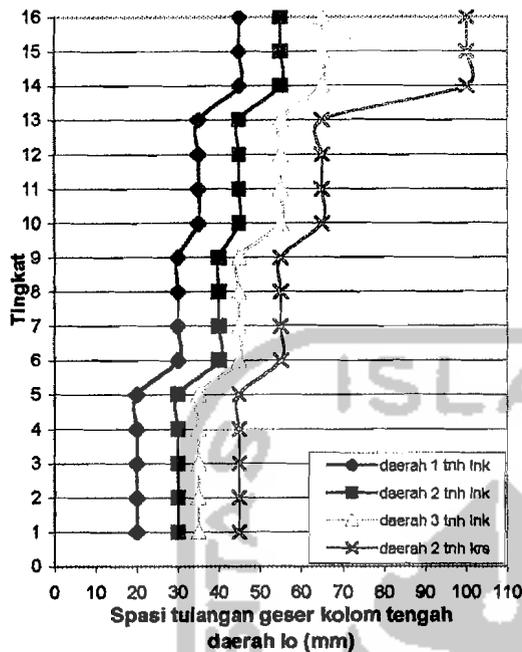
Gambar 7.49. spasi tulangan geser kolom tepi daerah lo



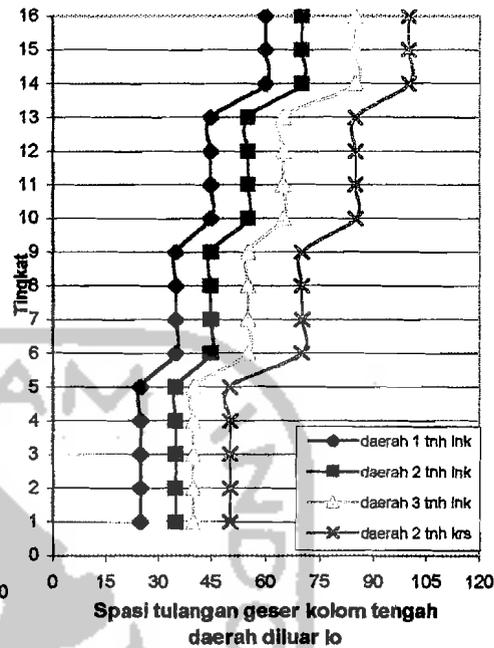
Gambar 7.50. Spasi tulangan geser kolom tepi diluar daerah lo

Tabel 7.45 Spasi tulangan geser kolom tengah.

Lantai	Tulangan geser Kolom tengah pada							
	Daerah 1 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Lunak		Daerah 3 Tanah Lunak		Daerah 2 Tanah Keras	
	Kolom		Kolom		Kolom		Kolom	
	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah	Tepi	Tengah
1	2Ø12-20	2Ø12-25	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-50
2	2Ø12-20	2Ø12-25	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-50
3	2Ø12-20	2Ø12-25	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-50
4	2Ø12-20	2Ø12-25	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-50
5	2Ø12-20	2Ø12-25	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-50
6	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70
7	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70
8	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70
9	2Ø12-30	2Ø12-35	2Ø12-40	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-70
10	2Ø12-35	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-65	2Ø12-65	2Ø12-85
11	2Ø12-35	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-65	2Ø12-65	2Ø12-85
12	2Ø12-35	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-65	2Ø12-65	2Ø12-85
13	2Ø12-35	2Ø12-45	2Ø12-45	2Ø12-55	2Ø12-55	2Ø12-65	2Ø12-65	2Ø12-85
14	2Ø12-45	2Ø12-60	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-65	2Ø12-85	2Ø12-100	2Ø12-100
15	2Ø12-45	2Ø12-60	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-65	2Ø12-85	2Ø12-100	2Ø12-100
16	2Ø12-45	2Ø12-60	2Ø12-55	2Ø12-70	2Ø12-65	2Ø12-85	2Ø12-100	2Ø12-100



Gambar 7.51 spasi tulangan geser kolom tengah daerah Io



Gambar 7.52 spasi tulangan geser kolom tengah daerah Io

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa spasi tulangan geser kolom didaerah Io lebih rapat daripada spasi tulangan geser diluar daerah Io. Hal ini disebabkan karena nilai  $V_c$  sama dengan nol dan untuk menjamin terbentuknya sendi-sendi plastis pada ujung-ujung kolom. Seperti halnya tabel-tabel dan grafik sebelumnya, untuk struktur portal daerah 1 tanah lunak relatif lebih rapat daripada daerah 2 dan 3. Kondisi ini disebabkan oleh momen yang diterima oleh struktur yang berada di daerah 1 tanah lunak lebih besar sehingga diperlukan tulangan geser yang relatif lebih rapat.