

ANALISA GAYA DIAFRAGMA, KORD DAN KOLEKTOR PADA BANGUNAN GEDUNG SESUAI DENGAN SNI 1726:2012

Prijasambada¹, Vifi Hafifah²

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Persada Indonesia YAI, Jakarta, Indonesia

² Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Persada Indonesia YAI, Jakarta, Indonesia
E-mail : prijasambada@yahoo.com¹, vifi_hafifah@yahoo.com²

ABSTRAK

Salah satu perubahan aturan gempa dari SNI 03-1726-2002 ke SNI 1726:2012 yaitu adanya gaya gempa diafragma sebagai gaya gempa tambahan yang menghasilkan tulangan ekstra berupa tulangan kord, kolektor dan sambungannya. Tujuan dari penulisan ini yaitu untuk menjelaskan cara analisa perhitungan gaya diafragma dan perhitungan tulangan ekstra tersebut pada bangunan beton bertulang 15 lantai atas dan 1 basement yang digunakan sebagai bahan analisa yang berlokasi di Jakarta dengan kelas situs tanah lunak (SE). Dari hasil penelitian diketahui bahwa dengan adanya gaya desain diafragma, menghasilkan tulangan ekstra pada diafragma ke shearwall sebagai tulangan geser friksi, tulangan elemen kolektor ke shearwall dan tulangan kord pada balok. Besarnya jumlah tulangan ekstra yang diperlukan tergantung dari tingkat irregular bangunan tersebut. Pada contoh kasus, penambahan jumlah tulangan tidak banyak yang disebabkan tingkat irregular bangunan yang rendah.

Kata kunci : SNI 1726:2012; Gaya diafragma; kord; kolektor; kuat geser diafragma

1. PENDAHULUAN

Dalam periode tahun 2002 sampai 2012, Indonesia mengalami kejadian gempa besar yang menunjukkan bahwa kerusakan struktur tidak hanya terjadi pada bangunan yang tidak direncanakan tahan gempa, namun juga pada beberapa bangunan tahan gempa. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan munculnya data – data gempa terbaru serta perlunya Indonesia memiliki peraturan perencanaan ketahanan gempa yang baik, mendorong dilakukannya pembaruan terhadap SNI 03-1726-2002.

SNI 03-1726-2002 yang mengacu pada UBC 97 dianggap sudah ketinggalan zaman mengingat beberapa negara kiblat peraturan dunia sudah mengalami pembaruan baik isi maupun peta gempanya. Pakar gempa juga telah mengadakan penelitian terhadap gempa – gempa besar yang sudah terjadi di Indonesia dan diketahui bahwa percepatan batuan dasar gempa yang melanda Indonesia lebih besar dari yang ditetapkan pada SNI 03-1726-2002. Pada pembagian zonasi wilayah gempa menganggap bahwa semua daerah di setiap kota dalam satu zonasi tersebut memiliki respons spektrum yang sama, padahal kenyataannya tidak demikian. Hal ini membuat semakin bulatnya tekad para pakar untuk merevisi peraturan tersebut. Oleh karena itu,

diterbitkan SNI 1726:2012 yang mengacu pada ASCE 7-10 untuk menggantikan SNI 03-1726-2002.

Sesuai dengan SNI 1726:2012, terdapat elemen – elemen struktur baru seperti kord dan kolektor serta diafragma yang digunakan sebagai penahan gempa. Hal ini dimaksudkan untuk mendukung tingkat keamanan struktur dengan kenaikan percepatan gempa dan semakin banyaknya gedung bertingkat yang memiliki bentuk yang tidak regular. Oleh karena itu, pada jurnal ini akan dianalisa gedung bertingkat di Jakarta sesuai dengan peraturan terbaru tersebut.

2. METODOLOGI

Metodologi penulisan melingkupi studi pustaka, menentukan kriteria desain gedung, menentukan desain awal gedung, modelisasi struktur dan analisa struktur sesuai dengan peraturan terbaru, yaitu SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013.

3. LANDASAN TEORI

Gaya Desain Diafragma

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.10.1.1, diafragma lantai dan atap harus didesain untuk menahan gaya gempa desain dari analisis struktur, tetapi tidak boleh kurang dari yang ditentukan sesuai dengan Persamaan 1 sebagai berikut :

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \quad (1)$$

Dimana :

- F_{px} = gaya desain diafragma
- F_i = gaya desain yang diterapkan di tingkat i
- w_i = tributari berat sampai tingkat i
- w_{px} = tributari berat sampai diafragma di tingkat x .

Gaya yang ditentukan dari Persamaan 1 tidak boleh kurang dari :

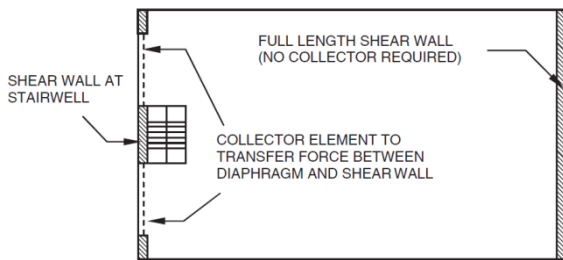
$$F_{px} = 0,2SDSI_eW_{px} \quad (2)$$

dan tidak boleh melebihi :

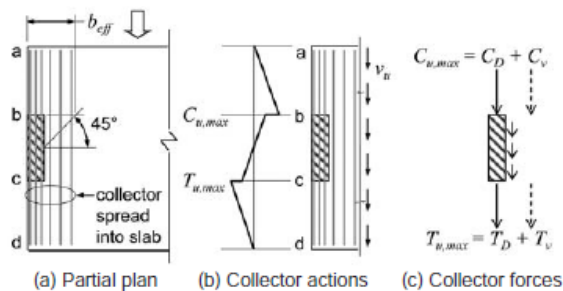
$$F_{px} = 0,4SDSI_eW_{px} \quad (3)$$

Kolektor

Kolektor adalah elemen tarik atau tekan yang mengumpulkan gaya geser dari diafragma dan menyalurkan gaya ke elemen vertikal. Kolektor dapat berupa balok atau zona yang diberi tulangan di dalam pelat lantai.



Gambar 3. Elemen kolektor
Sumber : ASCE 7-10, 2010

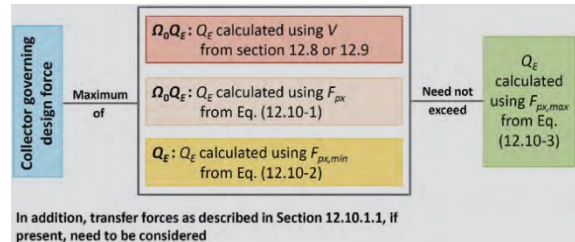


Gambar 4. Transfer gaya kolektor yang lebih lebar dari elemen vertikal

Sumber : NEHRP – Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors, 2010

Berdasarkan SNI 1726:2012 untuk struktur yang dirancang pada Kategori Desain Seismik (KDS) C, D, E atau F, elemen – elemen kolektor dan

sambungannya, termasuk sambungan ke komponen vertikal harus didesain untuk menahan nilai maksimum diantara nilai – nilai pada Pasal 7.10.2.1 dan pengecualiannya. Namun, gaya – gaya transfer sebagaimana dijelaskan dalam Pasal 7.10.1.1, harus ditinjau.



Gambar 5. Gaya desain kolektor berdasarkan ASCE 7-10

Sumber : Significant Changes From ASCE 7-05 to ASCE 7-10 part 1 : Seismic Design Provisions, S.K. Ghosh, 2014

Kord

Kord merupakan elemen struktur dapat berupa balok atau pelat lantai yang berada pada tepi bangunan sebagai penahan gaya tarik dan tekan akibat adanya gaya gempa pada diafragma. Perhitungan tulangan tarik kord yang terkonsentrasi dekat dengan tepi diafragma dengan nilai $\phi = 0,9$ dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$A_s = \frac{1}{\phi} \frac{T_u}{f_y} \quad (4)$$

ACI 318 memperbolehkan tulangan kord untuk didistribusikan sepanjang kedalaman diafragma, meskipun NEHRP – Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors (2010) merekomendasikan diletakkan antara seperempat luar kedalaman diafragma.

Sesuai dengan ACI 318 edisi sebelum 2008, kord tekan harus diberi tulangan sengkang jika tegangan tekan melebihi $0,2 f'_c$. Persyaratan ini telah dihilangkan pada edisi 2008 kecuali untuk elemen diafragma utama yang menerima gaya tekan aksial (struts) dan digunakan untuk meneruskan gaya geser atau lentur diafragma pada sekitar bukaan atau area tidak menerus lainnya.

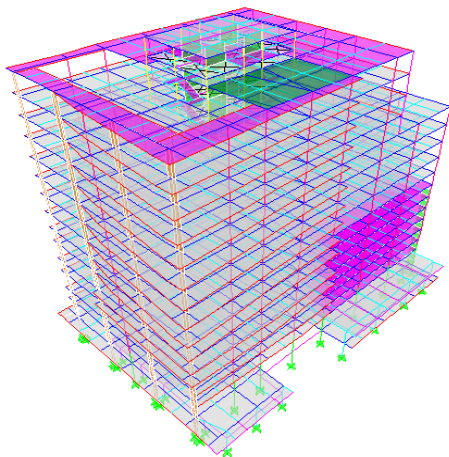
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gedung yang dianalisa dalam jurnal ini adalah gedung perkantoran bertingkat 15 lapis atas dan 1 lapis basement yang berlokasi di Jakarta dengan kelas situs tanah lunak (SE). Sistem struktur adalah sistem ganda dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) beton bertulang dan dinding beton bertulang khusus (DBK). Gedung dianalisa dengan sistem 2 tahap, dimana untuk perhitungan struktur atas dipisah dengan lantai basement.

Kord

Elemen kord pada bangunan ini dimodelisasikan sebagai elemen balok. Gaya yang diterima kord dihitung dengan persamaan gaya diafragma sesuai dengan persamaan (1) sampai (3).

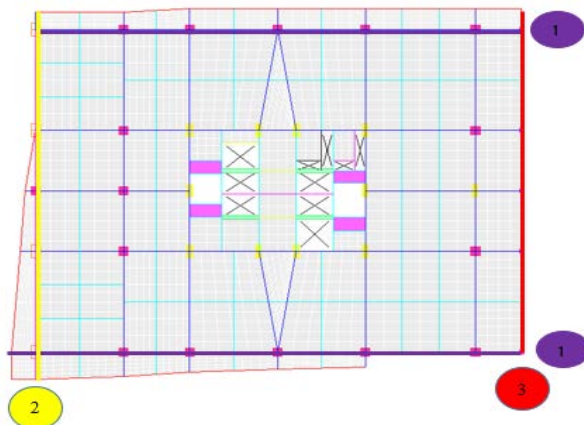
Tabel 1 dan 2 adalah perhitungan gaya diafragma pada setiap lantai untuk arah X dan Y.



Gambar 6. Pemodelan struktur 3D tanpa basement
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

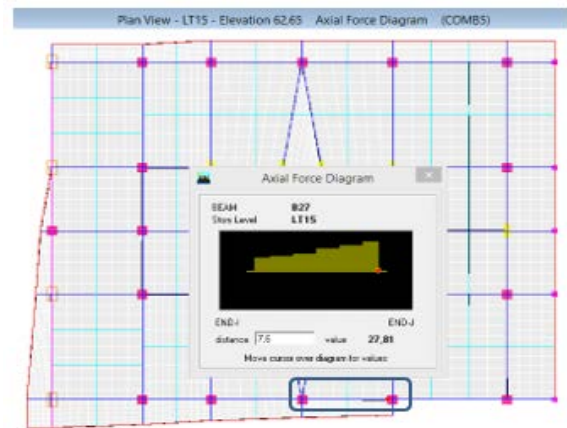
Input beban lateral ke diafragma dilakukan dengan distribusi *assembled mass joint*. Penggunaan opsi *User Coefficient* pada *Defined Pattern Load* pada *Seismic Load* pada program *ETABS* digunakan untuk menginput F_{px} dan F_{py} dalam bentuk ratio F_{px} atau F_{py} terhadap berat *story* yang ditinjau sebagai *user coefficient base shear*. Beban lateral F_{px} atau F_{py} pada diafragma secara otomatis akan terdistribusi sesuai *Assembled Point Mass*. Analisis dilakukan hanya untuk diafragma yang sedang ditinjau satu persatu tidak sekaligus, karena beban maksimum pada diafragma tidak terjadi bersamaan pada lantai.

Berikut analisa perhitungan tulangan balok kord pada lantai 15.

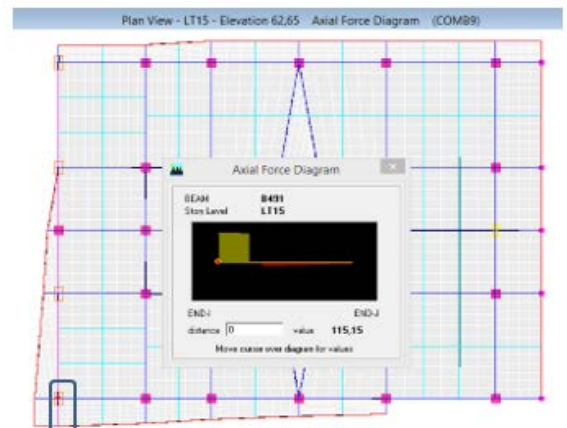


Gambar 7. Tipe balok kord
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

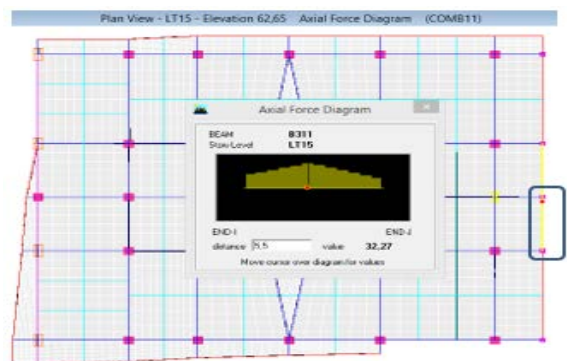
Perhitungan tulangan balok kord tipe 1, 2 dan 3 sesuai dengan persamaan (4) terdapat pada Tabel 3.



Gambar 8. Gaya tarik maksimum tipe balok kord 1
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017



Gambar 9. Gaya tarik maksimum tipe balok kord 2
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017



Gambar 10. Gaya tarik maksimum tipe balok kord 3
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

Gaya tarik pada Tabel 6 didapat dari *ETABS* gaya diafragma dan momen didapat dari *ETABS* gaya gempa dinamik skala. Kemudian gaya dan momen tersebut dimasukkan kedalam diagram interaksi untuk mengetahui apakah tulangan terpasang mencukupi.

Tabel 2. Perhitungan Fpx kord

Story	W _{px}	ΣW _i	ΣF _i	F _{px}	F _{px min}	F _{px max}	F _{px Dipakai}	F _{px dipakai / W_{px}}
	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	
ATAP	0,97	1,05	0,196	0,180	0,118	0,235	0,180	0,1867
LT15	1,10	2,31	0,388	0,185	0,134	0,268	0,185	0,1681
LT14	1,10	3,57	0,547	0,169	0,134	0,268	0,169	0,1531
LT13	1,10	4,84	0,679	0,155	0,134	0,268	0,155	0,1403
LT12	1,45	6,48	0,821	0,184	0,176	0,352	0,184	0,1268
LT11	1,45	8,14	0,948	0,169	0,176	0,353	0,176	0,1216
LT10	1,45	9,81	1,059	0,157	0,176	0,353	0,176	0,1216
LT9	1,45	11,48	1,159	0,146	0,176	0,353	0,176	0,1216
LT8	1,44	13,12	1,249	0,137	0,175	0,351	0,175	0,1216
LT7-P6	1,09	14,33	1,314	0,100	0,132	0,264	0,132	0,1216
P5B	0,37	14,80	1,340	0,034	0,045	0,091	0,045	0,1216
P5A	0,40	15,29	1,365	0,036	0,049	0,098	0,049	0,1216
LT6-P5	1,07	16,45	1,424	0,092	0,130	0,260	0,130	0,1216
P4A	0,40	16,95	1,450	0,035	0,049	0,098	0,049	0,1216
LT5-P4	1,09	18,12	1,509	0,090	0,132	0,264	0,132	0,1216
P3B	0,40	18,61	1,534	0,033	0,049	0,097	0,049	0,1216
P3A	0,39	19,09	1,556	0,032	0,047	0,094	0,047	0,1216
LT4-P3	1,05	20,24	1,606	0,084	0,128	0,256	0,128	0,1216
P2A	0,39	20,71	1,625	0,030	0,047	0,094	0,047	0,1216
LT3-P2	1,06	21,87	1,669	0,081	0,129	0,259	0,129	0,1216
PIB	0,39	22,35	1,686	0,029	0,047	0,094	0,047	0,1216
P1A	0,49	22,93	1,703	0,036	0,059	0,118	0,059	0,1216
LT2-P1	1,18	24,22	1,734	0,084	0,143	0,286	0,143	0,1216
MZN	0,85	25,30	1,753	0,059	0,103	0,206	0,103	0,1216

Tabel 3. Perhitungan tulangan balok kord

Lokasi	V _u kN	Tulangan Pelat Lantai							
		Tulangan	Jumlah batang/m	As mm ²	f _y N/mm ²	μ	V _n kN	ΦV _n kN	Cek ΦV _n > V _u
1	59,987	D10-200 (2 lapis)	10	785	400	0,6	188,400	141,300	OK
2	132,414	D10-200 (2 lapis)	10	785	400	0,6	188,400	141,300	OK
3	49,600	D10-200 (2 lapis)	10	785	400	0,6	188,400	141,300	OK

Tabel 4. Pemeriksaan tulangan geser friksi

Tipe Balok	COMB	Tu	f	f _y (N/m ²)	As (mm ²)	Penulangan	As Terpasang	Cek
		(kN)					(mm ²)	
1	Comb 5	27,81	0,9	400	77,25	6 D19	1700,31	OK
2	Comb 9	115,15	0,9	400	319,8611	6 D19	1700,31	OK
3	Comb 11	32,27	0,9	400	89,63889	4 D13	530,66	OK

Tabel 5. Perhitungan Fpy kord

Story	W _{px}	ΣW _i	ΣF _i	F _{py}	F _{py min}	F _{py max}	F _{py dipakai}	F _{py dipakai / W_{px}}
	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	
ATAP	0,97	1,05	0,211	0,194	0,118	0,235	0,194	0,2004
LT15	1,10	2,31	0,408	0,195	0,134	0,268	0,195	0,1765
LT14	1,10	3,57	0,566	0,174	0,134	0,268	0,174	0,1583
LT13	1,10	4,84	0,687	0,156	0,134	0,268	0,156	0,1419
LT12	1,45	6,48	0,803	0,179	0,176	0,352	0,179	0,1240
LT11	1,45	8,14	0,904	0,161	0,176	0,353	0,176	0,1216
LT10	1,45	9,81	0,990	0,146	0,176	0,353	0,176	0,1216
LT9	1,45	11,48	1,068	0,135	0,176	0,353	0,176	0,1216
LT8	1,44	13,12	1,143	0,126	0,175	0,351	0,175	0,1216
LT7-P6	1,09	14,33	1,200	0,091	0,132	0,264	0,132	0,1216
P5B	0,37	14,80	1,225	0,031	0,045	0,091	0,045	0,1216
P5A	0,40	15,29	1,250	0,033	0,049	0,098	0,049	0,1216
LT6-P5	1,07	16,45	1,312	0,085	0,130	0,260	0,130	0,1216
P4A	0,40	16,95	1,340	0,032	0,049	0,098	0,049	0,1216
LT5-P4	1,09	18,12	1,406	0,084	0,132	0,264	0,132	0,1216
P3B	0,40	18,61	1,435	0,031	0,049	0,097	0,049	0,1216
P3A	0,39	19,09	1,462	0,030	0,047	0,094	0,047	0,1216
LT4-P3	1,05	20,24	1,523	0,079	0,128	0,256	0,128	0,1216
P2A	0,39	20,71	1,549	0,029	0,047	0,094	0,047	0,1216
LT3-P2	1,06	21,87	1,607	0,078	0,129	0,259	0,129	0,1216
PIB	0,39	22,35	1,631	0,028	0,047	0,094	0,047	0,1216
P1A	0,49	22,93	1,655	0,035	0,059	0,118	0,059	0,1216
LT2-P1	1,18	24,22	1,703	0,083	0,143	0,286	0,143	0,1216
MZN	0,85	25,30	1,734	0,058	0,103	0,206	0,103	0,1216

Tabel 6. Perhitungan kuat geser diafragma

Location	F22 (kN)		Section Width (m)	V _n (kN)	Concrete Shear Capacity		Shear Reinforcement (kN)	Reinforcement Needed
	Right	Left			V _n = $\frac{1}{6} \sqrt{f_c} x b x d$ (kN)	V _u / φ		
1	50,878	-41,859	36,4	78,27338	3322,850	-	-	
2	113,942	-113,942	3,35	175,2948	305,812	-	-	
3	17,916	-17,916	1,2	27,56308	109,545	-	-	

Tabel 7. Gaya aksial dan momen balok kord

Tipe Balok	Tu (kN)	MZ (kNm)
1	27,81	346,355
2	115,15	259,108
3	32,27	108,928

Tabel 8. Perhitungan 1,25 Fpx

Story	Wpx	ΣWi	ΣFi	Fpx	Fpx min	Fpx max	Fpx Dipakai	1,25 x Fpx Dipakai	1,25 x Fpx dipakai / Wpx
	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	
ATAP	0,97	1,05	0,196	0,180	0,118	0,235	0,180	0,2256	0,2334
LT15	1,10	2,31	0,388	0,185	0,134	0,268	0,185	0,2318	0,2101
LT14	1,10	3,57	0,547	0,169	0,134	0,268	0,169	0,2107	0,1913
LT13	1,10	4,84	0,679	0,155	0,134	0,268	0,155	0,1932	0,1754
LT12	1,45	6,48	0,821	0,184	0,176	0,352	0,184	0,2294	0,1585
LT11	1,45	8,14	0,948	0,169	0,176	0,353	0,176	0,2206	0,1520
LT10	1,45	9,81	1,059	0,157	0,176	0,353	0,176	0,2206	0,1520
LT9	1,45	11,48	1,159	0,146	0,176	0,353	0,176	0,2206	0,1520
LT8	1,44	13,12	1,249	0,137	0,175	0,351	0,175	0,2192	0,1520
LT7-P6	1,09	14,33	1,314	0,100	0,132	0,264	0,132	0,1651	0,1520
P5B	0,37	14,80	1,340	0,034	0,045	0,091	0,045	0,0567	0,1520
P5A	0,40	15,29	1,365	0,036	0,049	0,098	0,049	0,0613	0,1520
LT6-P5	1,07	16,45	1,424	0,092	0,130	0,260	0,130	0,1623	0,1520
P4A	0,40	16,95	1,450	0,035	0,049	0,098	0,049	0,0613	0,1520
LT5-P4	1,09	18,12	1,509	0,090	0,132	0,264	0,132	0,1650	0,1520
P3B	0,40	18,61	1,534	0,033	0,049	0,097	0,049	0,0607	0,1520
P3A	0,39	19,09	1,556	0,032	0,047	0,094	0,047	0,0589	0,1520
LT4-P3	1,05	20,24	1,606	0,084	0,128	0,256	0,128	0,1602	0,1520
P2A	0,39	20,71	1,625	0,030	0,047	0,094	0,047	0,0589	0,1520
LT3-P2	1,06	21,87	1,669	0,081	0,129	0,259	0,129	0,1616	0,1520
P1B	0,39	22,35	1,686	0,029	0,047	0,094	0,047	0,0589	0,1520
P1A	0,49	22,93	1,703	0,036	0,059	0,118	0,059	0,0740	0,1520
LT2-P1	1,18	24,22	1,734	0,084	0,143	0,286	0,143	0,1787	0,1520
MZN	0,85	25,30	1,753	0,059	0,103	0,206	0,103	0,1287	0,1520

Tabel 9. Perhitungan 1,25 Fpy

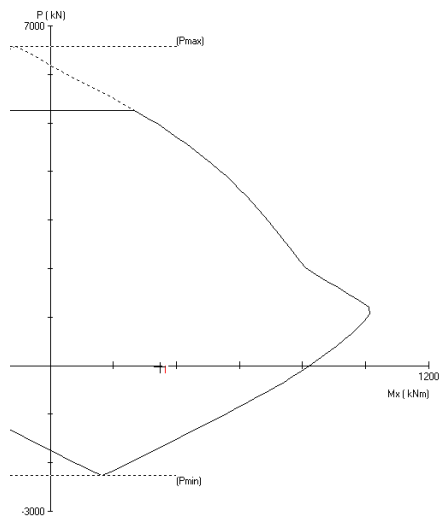
Story	Wpx	ΣWi	ΣFi	Fpy	Fpy min	Fpy max	Fpy dipakai	1,25 x Fpy Dipakai	1,25 x Fpy dipakai / Wpx
	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN)	
ATAP	0,97	1,05	0,211	0,194	0,118	0,235	0,194	0,2421	0,2505
LT15	1,10	2,31	0,408	0,195	0,134	0,268	0,195	0,2434	0,2206
LT14	1,10	3,57	0,566	0,174	0,134	0,268	0,174	0,2179	0,1978
LT13	1,10	4,84	0,687	0,156	0,134	0,268	0,156	0,1954	0,1774
LT12	1,45	6,48	0,803	0,179	0,176	0,352	0,179	0,2243	0,1550
LT11	1,45	8,14	0,904	0,161	0,176	0,353	0,176	0,2206	0,1520
LT10	1,45	9,81	0,990	0,146	0,176	0,353	0,176	0,2206	0,1520
LT9	1,45	11,48	1,068	0,135	0,176	0,353	0,176	0,2206	0,1520
LT8	1,44	13,12	1,143	0,126	0,175	0,351	0,175	0,2192	0,1520
LT7-P6	1,09	14,33	1,200	0,091	0,132	0,264	0,132	0,1651	0,1520
P5B	0,37	14,80	1,225	0,031	0,045	0,091	0,045	0,0567	0,1520
P5A	0,40	15,29	1,250	0,033	0,049	0,098	0,049	0,0613	0,1520
LT6-P5	1,07	16,45	1,312	0,085	0,130	0,260	0,130	0,1623	0,1520
P4A	0,40	16,95	1,340	0,032	0,049	0,098	0,049	0,0613	0,1520
LT5-P4	1,09	18,12	1,406	0,084	0,132	0,264	0,132	0,1650	0,1520
P3B	0,40	18,61	1,435	0,031	0,049	0,097	0,049	0,0607	0,1520
P3A	0,39	19,09	1,462	0,030	0,047	0,094	0,047	0,0589	0,1520
LT4-P3	1,05	20,24	1,523	0,079	0,128	0,256	0,128	0,1602	0,1520
P2A	0,39	20,71	1,549	0,029	0,047	0,094	0,047	0,0589	0,1520
LT3-P2	1,06	21,87	1,607	0,078	0,129	0,259	0,129	0,1616	0,1520
P1B	0,39	22,35	1,631	0,028	0,047	0,094	0,047	0,0589	0,1520
P1A	0,49	22,93	1,655	0,035	0,059	0,118	0,059	0,0740	0,1520
LT2-P1	1,18	24,22	1,703	0,083	0,143	0,286	0,143	0,1787	0,1520
MZN	0,85	25,30	1,734	0,058	0,103	0,206	0,103	0,1287	0,1520

Tabel 10. Fpx kolektor

Story	Wpx	ΣWi	ΣFi	Fpx	Fpx min	Check Max for Collector				Fpx max	Identifikasi F Collector	Fpx Collector dipakai / Wpx
						Fi . Ω _o	Fpx . Ω _o	Fpx min	Max			
	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴		
ATAP	0,97	1,05	0,196	0,180	0,118	0,491	0,451	0,118	0,491	0,235	Fpx Max	0,243
LT15	1,10	2,31	0,388	0,185	0,134	0,480	0,464	0,134	0,480	0,268	Fpx Max	0,243
LT14	1,10	3,57	0,547	0,169	0,134	0,397	0,421	0,134	0,421	0,268	Fpx Max	0,243
LT13	1,10	4,84	0,679	0,155	0,134	0,329	0,386	0,134	0,386	0,268	Fpx Max	0,243
LT12	1,45	6,48	0,821	0,184	0,176	0,356	0,459	0,176	0,459	0,352	Fpx max	0,243
LT11	1,45	8,14	0,948	0,169	0,176	0,317	0,422	0,176	0,422	0,353	Fpx max	0,243
LT10	1,45	9,81	1,059	0,157	0,176	0,276	0,391	0,176	0,391	0,353	Fpx max	0,243
LT9	1,45	11,48	1,159	0,146	0,176	0,250	0,366	0,176	0,366	0,353	Fpx max	0,243
LT8	1,44	13,12	1,249	0,137	0,175	0,226	0,343	0,175	0,343	0,351	Fpx . Ω ₀	0,238
LT7-P6	1,09	14,33	1,314	0,100	0,132	0,162	0,249	0,132	0,249	0,264	Fpx . Ω ₀	0,229
P5B	0,37	14,80	1,340	0,034	0,045	0,064	0,084	0,045	0,084	0,091	Fpx . Ω ₀	0,226
P5A	0,40	15,29	1,365	0,036	0,049	0,063	0,090	0,049	0,090	0,098	Fpx . Ω ₀	0,223
LT6-P5	1,07	16,45	1,424	0,092	0,130	0,149	0,231	0,130	0,231	0,260	Fpx . Ω ₀	0,216
P4A	0,40	16,95	1,450	0,035	0,049	0,063	0,086	0,049	0,086	0,098	Fpx . Ω ₀	0,214
LT5-P4	1,09	18,12	1,509	0,090	0,132	0,148	0,226	0,132	0,226	0,264	Fpx . Ω ₀	0,208
P3B	0,40	18,61	1,534	0,033	0,049	0,062	0,082	0,049	0,082	0,097	Fpx . Ω ₀	0,206
P3A	0,39	19,09	1,556	0,032	0,047	0,055	0,079	0,047	0,079	0,094	Fpx . Ω ₀	0,204
LT4-P3	1,05	20,24	1,606	0,084	0,128	0,124	0,209	0,128	0,209	0,256	Fpx . Ω ₀	0,198
P2A	0,39	20,71	1,625	0,030	0,047	0,049	0,076	0,047	0,076	0,094	Fpx . Ω ₀	0,196
LT3-P2	1,06	21,87	1,669	0,081	0,129	0,109	0,203	0,129	0,203	0,259	Fpx . Ω ₀	0,191
P1B	0,39	22,35	1,686	0,029	0,047	0,047	0,073	0,047	0,073	0,094	Fpx . Ω ₀	0,189
P1A	0,49	22,93	1,703	0,036	0,059	0,044	0,090	0,059	0,090	0,118	Fpx . Ω ₀	0,186
LT2-P1	1,18	24,22	1,734	0,084	0,143	0,078	0,210	0,143	0,210	0,286	Fpx . Ω ₀	0,179
MZN	0,85	25,30	1,753	0,059	0,103	0,046	0,147	0,103	0,147	0,206	Fpx . Ω ₀	0,173

Tabel 11. Fpy kolektor

Story	Wpx	ΣWi	ΣFi	Fpy	Fpy min	Check Max for Collector				Fpy max	Identifikasi F Collector	Fpy Collector dipakai / Wpx
						Fi . Ω _o	Fpy . Ω _o	Fpy min	Max			
	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴	(kN) 10 ⁴		
ATAP	0,97	1,05	0,211	0,194	0,118	0,526	0,484	0,118	0,526	0,235	Fpy Max	0,243
LT15	1,10	2,31	0,408	0,195	0,134	0,493	0,487	0,134	0,493	0,268	Fpy Max	0,243
LT14	1,10	3,57	0,566	0,174	0,134	0,395	0,436	0,134	0,436	0,268	Fpy Max	0,243
LT13	1,10	4,84	0,687	0,156	0,134	0,302	0,391	0,134	0,391	0,268	Fpy max	0,243
LT12	1,45	6,48	0,803	0,179	0,176	0,291	0,449	0,176	0,449	0,352	Fpy max	0,243
LT11	1,45	8,14	0,904	0,161	0,176	0,253	0,403	0,176	0,403	0,353	Fpy max	0,243
LT10	1,45	9,81	0,990	0,146	0,176	0,214	0,366	0,176	0,366	0,353	Fpy max	0,243
LT9	1,45	11,48	1,068	0,135	0,176	0,196	0,338	0,176	0,338	0,353	Fpy . Ω ₀	0,233
LT8	1,44	13,12	1,143	0,126	0,175	0,188	0,314	0,175	0,314	0,351	Fpy . Ω ₀	0,218
LT7-P6	1,09	14,33	1,200	0,091	0,132	0,143	0,227	0,132	0,227	0,264	Fpy . Ω ₀	0,209
P5B	0,37	14,80	1,225	0,031	0,045	0,062	0,077	0,045	0,077	0,091	Fpy . Ω ₀	0,207
P5A	0,40	15,29	1,250	0,033	0,049	0,064	0,082	0,049	0,082	0,098	Fpy . Ω ₀	0,204
LT6-P5	1,07	16,45	1,312	0,085	0,130	0,153	0,213	0,130	0,213	0,260	Fpy . Ω ₀	0,199
P4A	0,40	16,95	1,340	0,032	0,049	0,070	0,080	0,049	0,080	0,098	Fpy . Ω ₀	0,198
LT5-P4	1,09	18,12	1,406	0,084	0,132	0,165	0,210	0,132	0,210	0,264	Fpy . Ω ₀	0,194
P3B	0,40	18,61	1,435	0,031	0,049	0,074	0,077	0,049	0,077	0,097	Fpy . Ω ₀	0,193
P3A	0,39	19,09	1,462	0,030	0,047	0,067	0,074	0,047	0,074	0,094	Fpy . Ω ₀	0,191
LT4-P3	1,05	20,24	1,523	0,079	0,128	0,153	0,198	0,128	0,198	0,256	Fpy . Ω ₀	0,188
P2A	0,39	20,71	1,549	0,029	0,047	0,065	0,072	0,047	0,072	0,094	Fpy . Ω ₀	0,187
LT3-P2	1,06	21,87	1,									

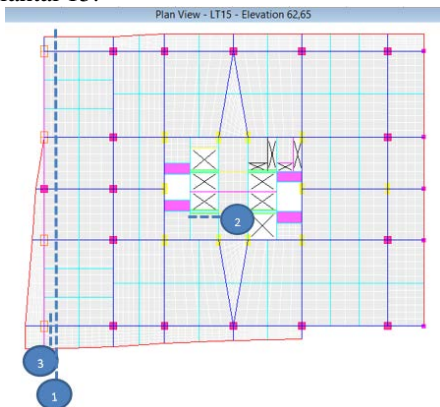


G.1A			
T :	TUMPUHAN	LAPANGAN	TUMPUHAN
U :	450 x 750 mm		
TA :	6 D25	3 D25	6 D25
TB :	3 D25	5 D25	3 D25
TC :	D13-100	D13-150	D13-100
TD :	6 D19		

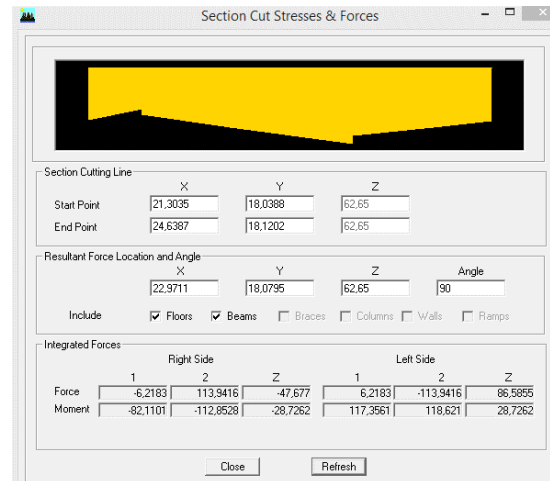
Gambar 11. Diagram interaksi dan tulangan balok kord terpasang tipe 1
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

Kuat Geser Diafragma

Pelat lantai yang didesain sebagai penahan gempa harus diperiksa kembali kuat geser terhadap gaya diafragma. Berikut analisa perhitungan pada pelat lantai 15.



Gambar 12. Lokasi section cut
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017



Gambar 13. Hasil section cut lokasi 2
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

Berdasarkan Tabel 5, dengan tebal pelat lantai 130 mm, gaya geser ultimate pelat lantai diafragma disekitar dinding geser tidak melebihi kapasitas kuat geser betonnya saja sehingga tidak diperlukan tulangan geser pada pelat lantai.

Sambungan Diafragma ke Dinding Geser dan Kolektor.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.3.3.4, untuk struktur yang dirancang di kategori KDS D, E, atau F dan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 2, 3 atau 4 pada Tabel 10 SNI 1726:2012 atau ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 4 pada Tabel 11 SNI 1726:2012, gaya desain yang ditentukan berdasarkan 7.10.1.1 harus ditingkatkan 25%, salah satunya adalah untuk elemen – elemen sistem penahan gaya gempa berupa sambungan antara diafragma ke elemen – elemen vertikal dan ke elemen kolektor.

Tabel 7 dan 8 adalah tabel perhitungan nilai F_{px} dengan rumus yang sama dengan perhitungan nilai F_{px} kord. Namun, nilai F_{px} dipakai diperbesar 25% sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726:2012 Pasal 7.3.3.4.

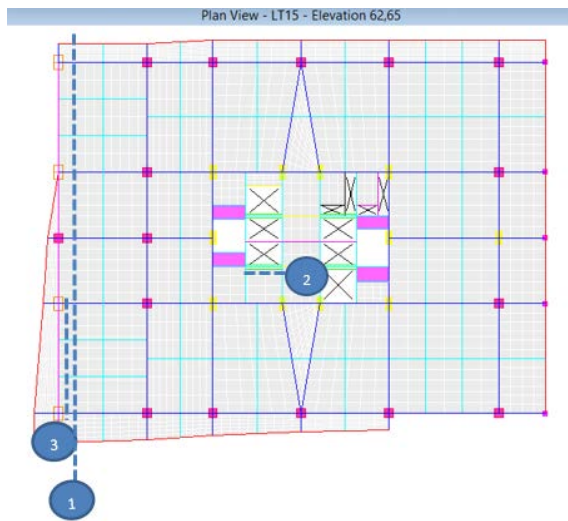
Gaya geser dari diafragma ke dinding geser dan balok kolektor ditransfer melalui geser friksi. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.6, tulangan geser friksi tersebut di cek dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \quad (4)$$

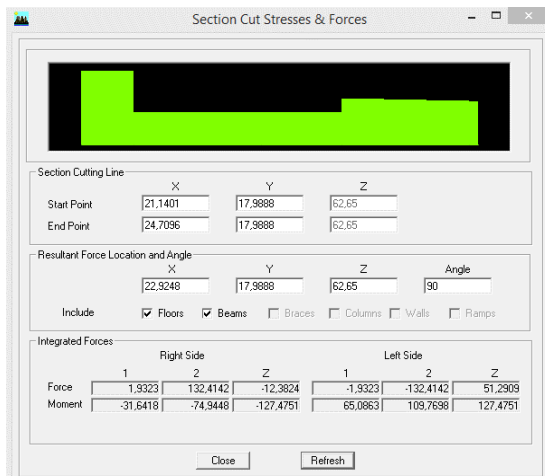
Dimana :

- A_{vf} = Luas tulangan geser-friksi perlu
- μ = koefisien friksi sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.6.4.3

Pada perhitungan ini, nilai μ yang digunakan adalah $0,6\lambda$, dimana $\lambda = 1,0$ untuk beton berat normal. Berikut analisa perhitungan pada pada lantai 15.



Gambar 14. Lokasi *section cut*
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017



Gambar 15. Hasil *section cut* di *section 2*
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa tulangan pelat lantai saja yang mentransfer gaya geser friksi dari diafragma ke dinding geser dan balok kolektor cukup sebagai tulangan geser friksi. Oleh karena itu tidak dibutuhkan tulangan geser friksi tambahan.

Kolektor.

Pada SNI 1726:2012 Pasal 7.10.2.1, untuk struktur yang dirancang pada Kategori Desain Seismik (KDS) C, D, E atau F, elemen – elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan ke komponen vertikal harus didesain untuk menahan nilai maksimum diantara nilai – nilai berikut :

1. Gaya – gaya yang dihitung menggunakan pengaruh beban gempa, termasuk faktor kuat lebih dalam Pasal 7.4.3 dengan gaya – gaya gempa ditetapkan berdasarkan

prosedur gaya lateral ekuivalen dalam Pasal 7.8 atau prosedur analisis spektrum respons ragam dalam Pasal 7.9.

Check Max for Collector				Fpx max
Fi . Ω_0	Fpx . Ω_0	Fpx min	Max	(kN)
(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)

2. Gaya – gaya yang dihitung menggunakan pengaruh beban gempa, termasuk faktor kuat lebih dalam Pasal 7.4.3 dengan gaya – gaya gempa ditetapkan berdasarkan Persamaan 2.1.

Check Max for Collector				Fpx max
Fi . Ω_0	Fpx . Ω_0	Fpx min	Max	(kN)
(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)

3. Gaya – gaya yang dihitung menggunakan kombinasi beban dalam Pasal 7.4.2.3, dengan gaya gempa ditetapkan oleh Persamaan 2.2.

Check Max for Collector				Fpx max
Fi . Ω_0	Fpx . Ω_0	Fpx min	Max	(kN)
(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)

Gaya – gaya transfer, sebagaimana dijelaskan dalam Pasal 7.10.1.1, harus ditinjau.

Pengecualian :

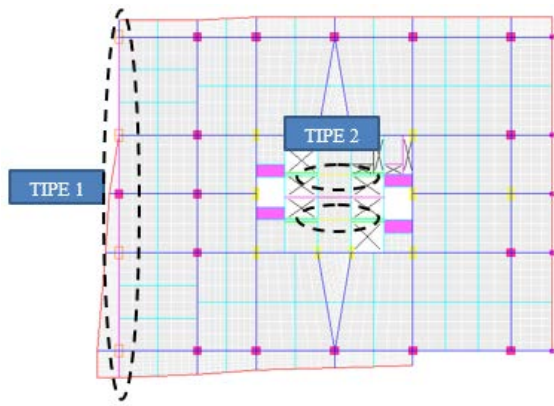
1. Gaya – gaya yang dihitung di atas tidak perlu melebihi gaya – gaya yang dihitung menggunakan kombinasi beban dalam Pasal 7.4.2.3, dengan gaya gempa ditetapkan berdasarkan Persamaan 2.3.

Check Max for Collector				Fpx max
Fi . Ω_0	Fpx . Ω_0	Fpx min	Max	(kN)
(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)

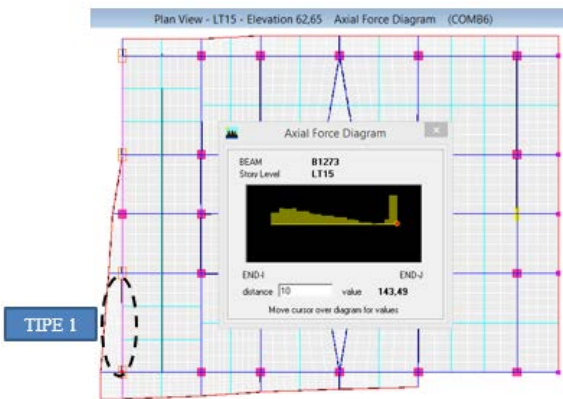
2. Pada struktur atau bagiannya yang dibres secara keseluruhan dengan dinding geser portal ringan, elemen – elemen kolektor beserta sambungannya, termasuk sambungan – sambungan ke elemen – elemen vertikal hanya perlu didesain untuk menahan kombinasi beban sesuai Pasal 7.4.2.3, dengan gaya – gaya gempa ditetapkan berdasarkan Pasal 7.10.1.1.

Tabel 9 dan 10 adalah tabel perhitungan nilai Fpx dan Fpy kolektor pada setiap lantai.

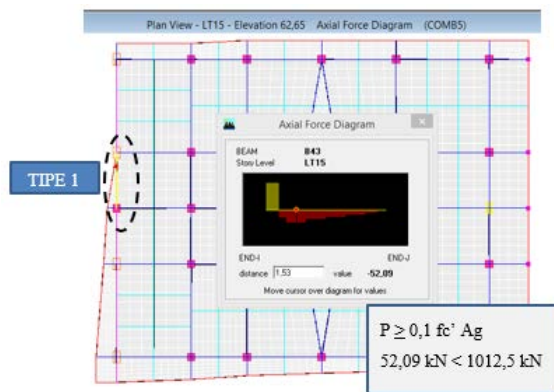
Berikut analisa perhitungan tulangan balok kolektor pada lantai 15 yang dimodelisasikan sebagai elemen kolom.



Gambar 16. Tipe balok kolektor
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

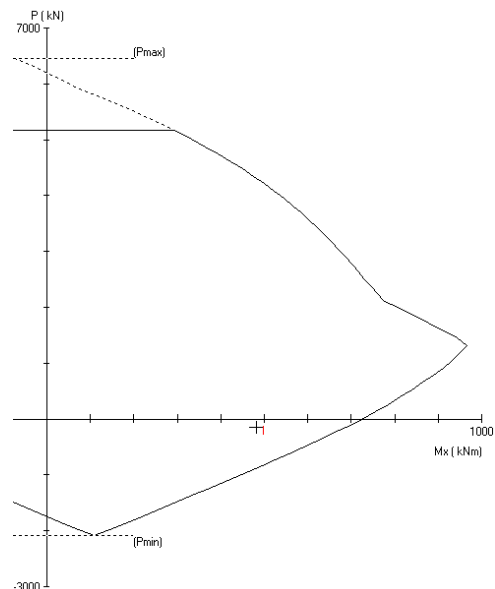


Gambar 17. Gaya Tarik maksimal pada balok kolektor tipe 1
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017



Gambar 18. Gaya Tarik maksimal pada balok kolektor tipe 1
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

Gaya tekan pada balok kolektor Tipe 1 masih di bawah $0,1 f_c' A_g$. Namun pada balok tersebut terdapat gaya tarik maksimal sebesar 143,49 kN.



G.1C			
	TUMPUHAN	LAPANGAN	TUMPUHAN
UF:		450 x 750 mm	
TA:	5 D25	3 D25	5 D25
TB:	3 D25	4 D25	3 D25
SC:	D13-100	D13-150	D13-100
TD:		6 D19	

Gambar 19. Diagram interaksi dan tulangan balok kolektor terpasang tipe 1
Sumber : Pengolahan Penulis, 2017

Tulangan terpasang pada balok kolektor masih memenuhi dalam diagram interaksi.

5. KESIMPULAN

Analisa gedung pada jurnal ini yang menggunakan SNI 1726:2012 tentang gaya desain diafragma menghasilkan tulangan ekstra pada diafragma ke shearwall sebagai tulangan geser friksi, tulangan elemen kolektor ke shearwall dan tulangan kord pada balok. Besarnya jumlah tulangan ekstra yang diperlukan tergantung dari tingkat irregular bangunan tersebut. Pada contoh kasus, penambahan jumlah tulangan tidak banyak yang disebabkan tingkat irregular bangunan yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

Alexander, N. & Sukamta, D. (2016, Agustus). Short Course HAKI 2016: Perencanaan diafragma, kord dan kolektor terhadap pengaruh gempa. Jakarta: HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia)

- American Concrete Institute (ACI). (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete*.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE 7-10. Reston, VA : ASCE.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). *NEHRP Recommended Seismic Provision Design Example*. Washington, D.C.: FEMA.
- Hafifah, Vifi. (2016). *Evaluasi pengaruh ketidakberaturan horizontal pada struktur bangunan dengan denah berbentuk U berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012*. Tesis, Fakultas Teknik: Universitas Indonesia.
- National Institute of Standard and Technology (NIST). (2010). *NEHRP Seismic Design of Cast-in-place Concrete Diaphragms Chord and Collector*. NIST GCR 10-917-4. California.
- S. K. Ghosh. *Significant Change from ASCE 7-05 to ASCE 7-10, part 1 Seismic Design Provisions*.
- Standard Nasional Indonesia (SNI). (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*. SNI 1726:2012. Bandung: Badan Standarisasi Indonesia.
- Standard Nasional Indonesia (SNI). (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847:2013. Bandung: Badan Standarisasi Indonesia.