

STUDI DAMPAK *SEMI-RIGID DIAPHRAGM* TERHADAP GAYA TARIK PADA *REENTRANT CORNER*

Ricardo Hendrawan^{1,*}, Roesdiman Soegiarso¹, Andy Prabowo¹

¹ Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara

Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia

*Corresponding authors: mosco15700@gmail.com

Abstract: Building structure ideally has a regular shape. However, buildings are often designed with irregular shapes. There are many buildings used as hotels and apartments that have an L-shaped floor plan. In buildings that have an L-shaped floor plan, there tend to be reentrant corner areas. The location of the reentrant corner is an indication of concentrated stress in the slab of the structure. In structural analysis modeling, diaphragms can be configured into rigid diaphragms, and semi-rigid diaphragms. In the semi-rigid diaphragm model, the slab are be able to have in-plane deformation. Therefore, modeling with a semi-rigid diaphragm will provide stress value on the slab. The stress value at the reentrant corner region is directly related to the resultant tensile forces. The increase in tensile forces can cause local damage to the reentrant corner region, thereby requiring additional tensile reinforcement. The stress concentration at the reentrant corner also influences by the positioning of the shear wall and the length ratio of the upper and lower wing. From the analysis results, the resultant tensile force is increase in the reentrant corner area as the wing length comparison increases and the addition of shear walls on the lower wing. The increase in resultant tensile force causes the need for additional tensile reinforcement in the slab. The stress and force on the slab are zero in the model with a rigid diaphragm classification.

Keywords: reentrant corner, rigid diaphragm, semi-rigid diaphragm, shear wall position, length comparison of upper wing and lower wing

Abstrak: Struktur bangunan idealnya memiliki bentuk yang beraturan (*regular*). Namun, sering kali bangunan didesain dengan bentuk yang tidak beraturan (*irregular*). Terdapat banyak bangunan dengan peruntukan sebagai hotel dan apartemen yang memiliki denah berbentuk huruf L. Pada bangunan yang memiliki denah berbentuk huruf L akan cenderung terdapat daerah *reentrant corner*. Lokasi *reentrant corner* merupakan indikasi adanya tegangan yang terkonsentrasi pada pelat lantai struktur tersebut. Dalam pemodelan analisis struktur, diafragma dapat diasumsikan sebagai diafragma kaku (*rigid diaphragm*), dan diafragma semi-kaku (*semi-rigid diaphragm*). Pada pemodelan *semi-rigid diaphragm*, pelat lantai dapat berdeformasi kearah bidangnya. Oleh karena itu, pemodelan dengan *semi-rigid diaphragm* akan memberikan nilai tegangan pada pelat lantai. Nilai tegangan pada daerah *reentrant corner* berkaitan langsung dengan resutan gaya tarik yang terjadi. Kenaikan gaya tarik dapat menyebabkan kerusakan lokal pada daerah *reentrant corner*, sehingga diperlukan tulangan tarik tambahan. Konsentrasi tegangan pada *reentrant corner* juga dipengaruhi penempatan posisi dinding geser dan perbandingan panjang sayap atas dan sayap bawah. Dari hasil analisis, terjadi kenaikan resultan gaya tarik pada daerah *reentrant corner* seiring bertambahnya perbandingan panjang sayap dan penambahan *shear wall* pada bagian sayap bawah. Kenaikan tegangan menyebabkan kebutuhan tulangan tarik tambahan pada pelat di daerah *reentrant corner*. Tegangan dan gaya pada pelat lantai bernilai nol pada model dengan klasifikasi diafragma kaku (*rigid*).

Kata kunci: : *reentrant corner*, *rigid diaphragm*, *semi-rigid diaphragm*, posisi dinding geser, perbandingan panjang sayap atas dan sayap bawah

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan idealnya memiliki bentuk yang beraturan (*regular*). Dengan bentuk yang beraturan, lintasan beban dan perilaku struktur akibat beban gempa akan lebih terprediksi. Namun, terdapat banyak pertimbangan dalam menentukan desain geometri bangunan. Seringkali bangunan didesain dengan bentuk yang tidak beraturan (*irregular*). Terdapat banyak bangunan dengan peruntukan sebagai sekolah, hotel, dan apartemen yang memiliki denah berbentuk huruf L. Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Pada bangunan yang memiliki denah struktur berbentuk huruf L akan cenderung terdapat ketidakberaturan sudut dalam (*reentrant corner irregularity*).

Pada lokasi rawan gempa, adanya *reentrant corner* dapat menjadi masalah yang serius. Daerah *reentrant corner* seringkali tidak mendapatkan perhatian khusus oleh perencana. Sedangkan, lokasi *reentrant corner* merupakan salah satu indikasi adanya tegangan tarik yang terkonsentrasi pada pelat lantai struktur tersebut. Konsentrasi tegangan tarik pada pelat lantai tersebut perlu ditinjau lebih jauh agar dapat menurunkan potensi kerusakan yang dapat terjadi.

Dalam pemodelan analisis struktur, diafragma dapat diasumsikan sebagai diafragma kaku (*rigid diaphragm*), dan diafragma semi-kaku (*semi-rigid diaphragm*). Pada pemodelan diafragma kaku, pelat lantai tidak berdeformasi ke arah bidangnya. Sedangkan pada pemodelan diafragma semi-kaku, pelat lantai dapat berdeformasi ke arah bidangnya. Oleh karena itu, pemodelan dengan pelat lantai semi-kaku akan memberikan tegangan tarik tambahan pada pelat lantai.

Menurut Thomas et al., 2017, terdapat perbedaan perpindahan lantai apabila pelat dimodelkan sebagai *ribbed slabs*, *waffle flat slabs*, dan *ordinary slabs*. Perpindahan lantai berkaitan langsung dengan kekakuan tingkat. Dalam penelitian Nandeesh.N.H, 2018, menyatakan bahwa semakin besar kekakuan tingkat, maka semakin kecil perpindahan

lantainya. Kondisi ini berlaku untuk pelat yang dimodelkan sebagai *rigid diaphragm* dan *semi-rigid diaphragm*. Hal tersebut berkaitan dengan perbandingan perpindahan lantai maksimum dari *rigid diaphragm* dan *semi-rigid diaphragm*. Menurut Yadav & Khuswaha, 2016, Perpindahan lantai maksimum untuk pelat lantai yang dimodelkan dengan *rigid diaphragm* akan lebih kecil bilang dibandingkan pelat lantai yang dimodelkan dengan *semi-rigid diaphragm*. Selain perpindahan lantai maksimum, pemodelan pelat lantai juga dapat mempengaruhi simpangan antar tingkat. Menurut Aziz Ur Rahman & Navilesh Jamshetty, 2019, simpangan antar tingkat pelat yang dimodelkan dengan *rigid diaphragm* lebih kecil dari pelat yang dimodelkan dengan *semi-rigid diaphragm*. Faktor modifikasi kekakuan diafragma juga mempengaruhi kekakuan lantai. Mengutip Alexander et al., 2018, semakin besar faktor modifikasi kekakuan diafragma, maka diafragma tersebut akan cenderung berperilaku sebagai *rigid diaphragm*. Sebaliknya, semakin kecil faktor modifikasi kekakuan diafragma, maka diafragma tersebut akan cenderung berperilaku sebagai *flexible diaphragm*. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, pemodelan pelat lantai sebagai *rigid* atau *semi-rigid diaphragm* mempengaruhi kekakuan tingkat suatu struktur.

Shreyasvi C. & Shivakumaraswamy B., 2015, melakukan penelitian tentang struktur *regular* dan struktur dengan *reentrant corner*. Dalam penelitian tersebut dilakukan analisis perbandingan perpindahan maksimum lantai, simpangan antar tingkat, dan periode fundamental struktur. Perpindahan maksimum lantai dan simpangan antar tingkat pada gedung dengan *reentrant corner* lebih besar dibandingkan gedung dengan bentuk *regular*, sedangkan periode getar fundamental untuk struktur dengan *reentrant corner* lebih singkat dari struktur dengan bentuk *regular*. Dalam penelitian Ahmed et al., 2016, juga didapatkan bahwa semakin besar derajat ketidakberaturan torsi, semakin kecil periode fundamental strukturnya. Sedangkan, semakin besar derajat ketidakberaturan torsi, semakin besar juga simpangan antar lantainya.

Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, perlu dipelajari lebih lanjut tentang efek dari pemodelan diafragma kaku dan semi-kaku, khususnya terhadap tegangan pada *reentrant corner*. Maka, peneliti melakukan studi tentang dampak *semi-rigid diaphragm* terhadap gaya tarik pada *reentrant corner*. Konsentrasi gaya tarik pada *reentrant corner* juga dipengaruhi oleh

posisi penempatan dinding geser (*shear wall*). Dampak dari posisi penempatan *shear wall*, juga perlu dipelajari lebih lanjut. Hasil dari dampak posisi penempatan *shear wall*, dapat dijadikan acuan dalam penerapan perencanaan struktur.

2. METODE PENELITIAN

Data-data untuk melakukan analisis terhadap bangunan dipersiapkan terlebih dahulu. Data-data tersebut akan digunakan saat melakukan pemodelan struktur. Sehingga tujuan penelitian untuk mengetahui dampak posisi penempatan *shear wall* terhadap gaya tarik pada *reentrant corner*, dampak *semi-rigid diaphragm* terhadap gaya tarik yang terkonsentrasi pada daerah *reentrant corner*, dan penerapan dalam perencanaan struktur dapat tercapai. Berikut ini merupakan data bangunan yang digunakan untuk analisis:

Fungsi bangunan	: Apartemen
Jumlah tingkat	: 20 tingkat
Tinggi tingkat	: 4 meter
Dimensi kolom	: 100 cm x 100 cm
Dimensi balok induk	: 40 cm x 80 cm
Dimensi balok anak	: 30 cm x 60 cm
Tebal pelat	: 12.5 cm
Tebal dinding geser	: 30 cm
Mutu beton ($f'c$)	
Pelat	: 30 MPa
Balok	: 30 MPa
Kolom	: 30 MPa
Dinding geser	: 30 MPa

Struktur Gedung berada di daerah DKI Jakarta dengan kelas situs tanah lunak (SE).

Diafragma direncanakan untuk mampu memikul penyaluran gaya-gaya yang disebabkan oleh adanya interaksi rangka dari perbedaan elemen vertikal. Dalam hal ini diafragma dibutuhkan untuk menyalurkan gaya dari elemen vertikal (kolom dan dinding) diatas diafragma ke elemen vertikal lainnya dibawah diafragma karena terjadinya perbedaan kekakuan relatif lateral pada elemen-elemen vertikal. Gaya transfer ini harus ditambahkan pada gaya yang ditentukan pada persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

F_{px} = Gaya desain diafragma pada lantai x

F_i = Gaya desain gempa pada lantai i

w_i = Tributari berat lantai i

w_{px} = Tributari berat dari diafragma lantai i

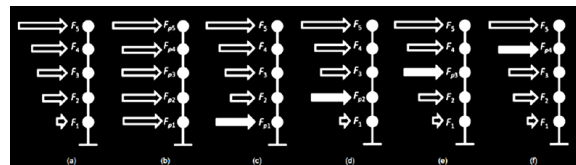
Gaya yang dinyatakan pada persamaan diatas tidak boleh lebih kecil dari:

$$F_{px \min} = 0,2 S_{DS} I_e w_{px} \quad (2)$$

Dan tidak perlu melebihi:

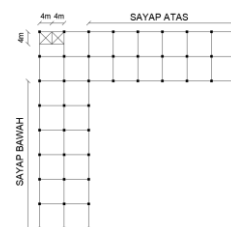
$$F_{px \min} = 0,4 S_{DS} I_e w_{px} \quad (3)$$

Gaya desain diafragma (F_{px}) diaplikasikan hanya pada lantai yang ditinjau.



Gambar 1. Distribusi F_{xi} dan F_{px} (Tumilar, 2022)

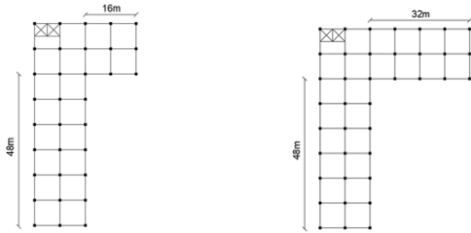
Model yang dianalisis adalah struktur dengan denah seperti huruf “L” dengan perbandingan panjang sayap atas dan sayap bawah yang berbeda. Sayap atas membentang kearah horizontal, dan sayap bawah membentang kearah vertikal. Sistem struktur yang digunakan merupakan sistem ganda. Dinding geser diletakan pada bagian sayap bawah denah. Terdapat 6 jenis pola pemasangan dinding geser yang selanjutnya disebut model dinding 1-6. Dalam denah ini, terdapat area *void* berukuran 2x4mx4m pada ujung kiri atas. Berikut ini merupakan keterangan gambar untuk istilah sayap atas dan sayap bawah:



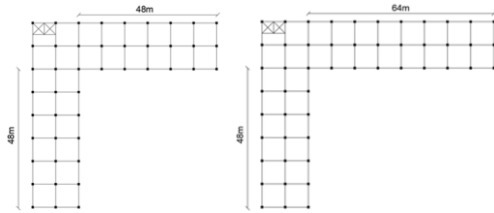
Gambar 2. Keterangan istilah sayap atas dan sayap bawah

Variasi panjang sayap atas dan sayap bawah yang akan dianalisis pada denah ini adalah 1:3, 2:3, 3:3, 4:3, 5:3 dan 6:3. Berikut ini adalah gambar

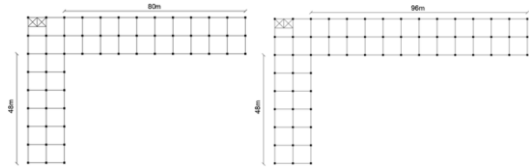
denah bangunan untuk setiap perbandingan panjang sayap atas dan sayap bawah:



Gambar 3. Denah dengan Perbandingan Sayap Atas : Sayap Bawah 1:3 (a) dan 2:3 (b)

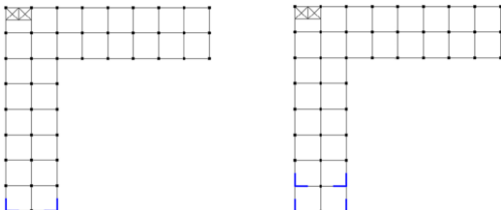


Gambar 4. Denah dengan Perbandingan Sayap Atas : Sayap Bawah 3:3 (a) dan 4:3 (b)

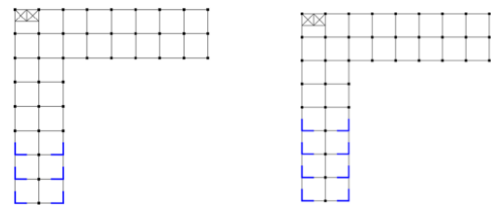


Gambar 5. Denah dengan Perbandingan Sayap Atas : Sayap Bawah 5:3 (a) dan 6:3 (b)

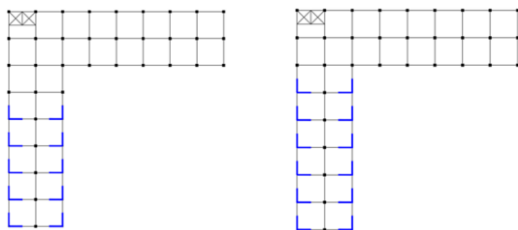
Selanjutnya merupakan gambar keterangan model dinding 1 sampai model dinding 6:



Gambar 6. Model Dinding 1 (a) dan 2 (b)



Gambar 7. Model Dinding 3 (a) dan 4 (b)



Gambar 8. Model Dinding 5 (a) dan 6 (b)

Berikut ini tabel rangkuman model yang dianalisis:

Tabel 1. Model Nomor 1-72

No	Sayap Atas : Sayap Bawah	Model Dinding	Diafragma
1	1:3	1	<i>Rigid</i>
2		1	<i>Semi Rigid</i>
3		2	<i>Rigid</i>
4		2	<i>Semi Rigid</i>
5		3	<i>Rigid</i>
6		3	<i>Semi Rigid</i>
7		4	<i>Rigid</i>
8		4	<i>Semi Rigid</i>
9		5	<i>Rigid</i>
10		5	<i>Semi Rigid</i>
11		6	<i>Rigid</i>
12		6	<i>Semi Rigid</i>
13	2:3	1	<i>Rigid</i>
14		1	<i>Semi Rigid</i>
15		2	<i>Rigid</i>
16		2	<i>Semi Rigid</i>
17		3	<i>Rigid</i>
18		3	<i>Semi Rigid</i>
19		4	<i>Rigid</i>
20		4	<i>Semi Rigid</i>
21		5	<i>Rigid</i>
22		5	<i>Semi Rigid</i>
23		6	<i>Rigid</i>
24		6	<i>Semi Rigid</i>
25	3:3	1	<i>Rigid</i>
26		1	<i>Semi Rigid</i>
27		2	<i>Rigid</i>
28		2	<i>Semi Rigid</i>
29		3	<i>Rigid</i>
30		3	<i>Semi Rigid</i>
31		4	<i>Rigid</i>
32		4	<i>Semi Rigid</i>
33		5	<i>Rigid</i>
34		5	<i>Semi Rigid</i>
35		6	<i>Rigid</i>
36		6	<i>Semi Rigid</i>
37	4:3	1	<i>Rigid</i>
38		1	<i>Semi Rigid</i>
39		2	<i>Rigid</i>
40		2	<i>Semi Rigid</i>
41		3	<i>Rigid</i>
42		3	<i>Semi Rigid</i>

No	Sayap Atas : Sayap Bawah	Model Dinding	Diafragma
43	5:3	4	<i>Rigid</i>
44			<i>Semi Rigid</i>
45		5	<i>Rigid</i>
46			<i>Semi Rigid</i>
47		6	<i>Rigid</i>
48			<i>Semi Rigid</i>
49		1	<i>Rigid</i>
50			<i>Semi Rigid</i>
51		2	<i>Rigid</i>
52			<i>Semi Rigid</i>
53		3	<i>Rigid</i>
54			<i>Semi Rigid</i>
55	6:3	4	<i>Rigid</i>
56			<i>Semi Rigid</i>
57		5	<i>Rigid</i>
58			<i>Semi Rigid</i>
59		6	<i>Rigid</i>
60			<i>Semi Rigid</i>
61		1	<i>Rigid</i>
62			<i>Semi Rigid</i>
63		2	<i>Rigid</i>
64			<i>Semi Rigid</i>
65		3	<i>Rigid</i>
66			<i>Semi Rigid</i>
67		4	<i>Rigid</i>
68			<i>Semi Rigid</i>
69		5	<i>Rigid</i>
70			<i>Semi Rigid</i>
71		6	<i>Rigid</i>
72			<i>Semi Rigid</i>

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pembebanan sesuai dengan SNI 1727-2020 dan SNI 1726-2019 dan dimensi struktur sesuai dengan SNI 2847-2019.
2. Melakukan pemodelan struktur sesuai dengan dimensi, mutu bahan, dan pembebanan yang ditentukan sebelumnya. Pemodelan struktur bangunan dilakukan

dengan bantuan perangkat lunak ETABS secara 3D.

3. Setelah model selesai dibuat, selanjutnya akan dijalankan dianalisis model struktur bangunan dengan ETABS.
4. Struktur dianalisis untuk mendapatkan gaya tarik pada pelat lantai, khususnya pada daerah *reentrant corner*.
5. Melakukan pergantian model struktur.
6. Apabila seluruh model sudah dijalankan pada perangkat lunak ETABS, maka dilakukan analisis data.
7. Melakukan pembahasan dan menarik kesimpulan.

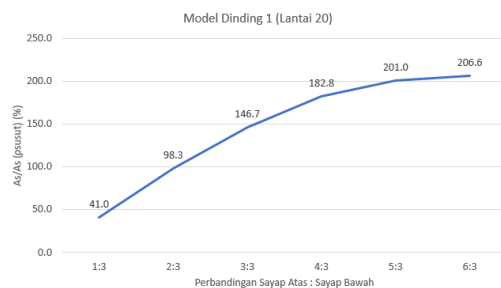
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Resultan gaya tarik pada daerah *reentrant corner* meningkat seiring pertambahan panjang sayap atas. Peningkatan gaya tarik ini menyebabkan kebutuhan tulangan tarik tambahan pada daerah *reentrant corner*. Nilai gaya tarik dari *output* program ETABS adalah F_{11} dan F_{22} , yaitu gaya aksial pada arah 1 sumbu lokal elemen dan gaya aksial pada arah 2 sumbu lokal elemen. Resultan dari kedua nilai tersebut dihitung untuk mendapatkan gaya tarik desain. Gaya tarik desain akan diperhitungkan untuk perhitungan tulangan tambahan yang perlu dipasang pada daerah *reentrant corner*. Selanjutnya, dilakukan perbandingan luas tulangan tambahan yang dibutuhkan akibat resultan gaya tarik pada daerah *reentrant corner* terhadap luas tulangan susut.

Setiap model akan diberikan kode untuk mendeskripsikan klasifikasinya. Tiga variabel pertama (x:3) merupakan perbandingan panjang sayap atas banding panjang sayap bawah. Angka setelah tanda “-” adalah kode untuk menandakan model dinding. Apabila tertulis angka 1, menandakan posisi penempatan dinding pada model yang dianalisis adalah model dinding 1. Selanjutnya terdapat huruf “SR” yang menandakan model tersebut dianalisis dengan klasifikasi diafragma *semi-rigid*.

Tabel 2. Perbandingan Luas Tulangan Tarik dan Tulangan Susut Model Dinding 1

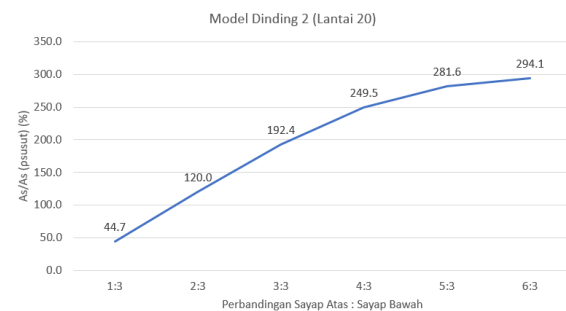
Model	Lantai	F_{Tarik} (kN/m)	As (mm ² /m)	As/As (ρ_{susut}) (%)
1:3-1SR	4	39.8	105.2	61.5
2:3-1SR		68.9	182.2	106.6
3:3-1SR		85.7	226.6	132.5
4:3-1SR		95.4	252.4	147.6
5:3-1SR		100.2	265.1	155.0
6:3-1SR		102.0	270.0	157.9
1:3-1SR	8	20.5	54.3	31.7
2:3-1SR		46.4	122.7	71.8
3:3-1SR		69.7	184.4	107.9
4:3-1SR		86.9	229.9	134.4
5:3-1SR		95.5	252.7	147.8
6:3-1SR		97.9	259.1	151.5
1:3-1SR	12	20.4	53.9	31.5
2:3-1SR		46.9	124.2	72.6
3:3-1SR		71.9	190.2	111.3
4:3-1SR		92.2	243.9	142.6
5:3-1SR		103.1	272.7	159.5
6:3-1SR		106.3	281.3	164.5
1:3-1SR	16	31.8	84.2	49.3
2:3-1SR		66.8	176.7	103.3
3:3-1SR		95.3	252.1	147.4
4:3-1SR		117.4	310.7	181.7
5:3-1SR		129.1	341.5	199.7
6:3-1SR		132.7	351.1	205.3
1:3-1SR	20	26.5	70.2	41.0
2:3-1SR		63.5	168.1	98.3
3:3-1SR		94.8	250.8	146.7
4:3-1SR		118.2	312.6	182.8
5:3-1SR		129.9	343.7	201.0
6:3-1SR		133.5	353.2	206.6



Gambar 9. Kenaikan Nilai As/As (ρ_{susut}) (%) pada Model Dinding 1 Lantai 20

Tabel 3. Perbandingan Luas Tulangan Tarik dan Tulangan Susut Model Dinding 2

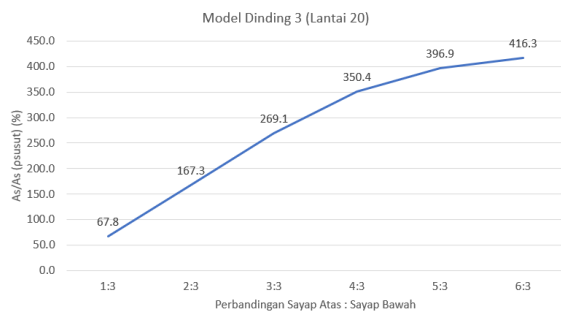
Model	Lantai	F_{Tarik} (kN/m)	As (mm ² /m)	As/As (ρ_{susut}) (%)
1:3-1SR	4	46.8	123.7	72.3
2:3-1SR		84.2	222.8	130.3
3:3-1SR		108.5	287.0	167.8
4:3-1SR		124.0	328.1	191.8
5:3-1SR		132.7	351.0	205.2
6:3-1SR		136.8	361.8	211.6
1:3-1SR	8	32.0	84.8	49.6
2:3-1SR		71.1	188.0	109.9
3:3-1SR		108.3	286.4	167.5
4:3-1SR		136.8	362.0	211.7
5:3-1SR		152.9	404.6	236.6
6:3-1SR		159.3	421.5	246.5
1:3-1SR	12	34.9	92.4	54.0
2:3-1SR		78.7	208.2	121.8
3:3-1SR		121.2	320.8	187.6
4:3-1SR		155.8	412.1	241.0
5:3-1SR		176.1	465.8	272.4
6:3-1SR		184.4	487.8	285.3
1:3-1SR	16	49.1	130.0	76.0
2:3-1SR		103.9	275.0	160.8
3:3-1SR		151.3	400.2	234.1
4:3-1SR		188.8	499.5	292.1
5:3-1SR		210.8	557.8	326.2
6:3-1SR		220.1	582.3	340.5
1:3-1SR	20	28.9	76.4	44.7
2:3-1SR		77.5	205.2	120.0
3:3-1SR		124.3	328.9	192.4
4:3-1SR		161.3	426.6	249.5
5:3-1SR		182.0	481.6	281.6
6:3-1SR		190.1	503.0	294.1



Gambar 10. Kenaikan Nilai As/As (ρ_{susut}) (%) pada Model Dinding 2 Lantai 20

Tabel 4. Perbandingan Luas Tulangan Tarik dan Tulangan Susut Model Dinding 3

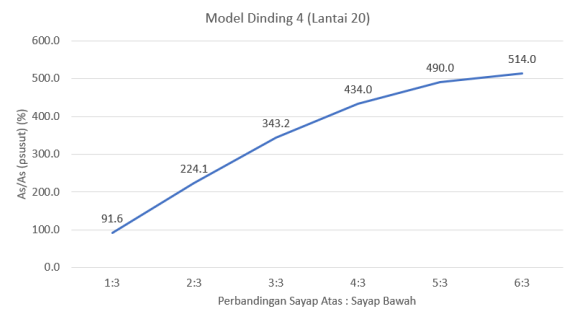
Model	Lantai	F_{Tarik} (kN/m)	As (mm ² /m)	As/As (ρ_{susut}) (%)
1:3-1SR	4	49.08	129.83	75.92
2:3-1SR		86.49	228.80	133.80
3:3-1SR		113.03	299.03	174.87
4:3-1SR		131.18	347.03	202.94
5:3-1SR		142.25	376.33	220.08
6:3-1SR		148.18	392.00	229.24
1:3-1SR	8	38.16	100.94	59.03
2:3-1SR		81.01	214.31	125.32
3:3-1SR		124.08	328.24	191.95
4:3-1SR		158.74	419.95	245.59
5:3-1SR		179.88	475.86	278.28
6:3-1SR		189.69	501.82	293.46
1:3-1SR	12	43.91	116.17	67.93
2:3-1SR		95.11	251.62	147.15
3:3-1SR		147.83	391.10	228.71
4:3-1SR		191.88	507.61	296.85
5:3-1SR		219.32	580.21	339.30
6:3-1SR		232.07	613.95	359.04
1:3-1SR	16	60.50	160.05	93.60
2:3-1SR		126.89	335.70	196.32
3:3-1SR		189.56	501.48	293.26
4:3-1SR		239.77	634.31	370.94
5:3-1SR		270.33	715.16	418.22
6:3-1SR		284.37	752.31	439.95
1:3-1SR	20	43.86	116.02	67.85
2:3-1SR		108.11	286.02	167.26
3:3-1SR		173.97	460.24	269.15
4:3-1SR		226.47	599.12	350.36
5:3-1SR		256.54	678.67	396.88
6:3-1SR		269.06	711.79	416.25



Gambar 11. Kenaikan Nilai As/As (ρ_{susut}) (%) pada Model Dinding 3 Lantai 20

Tabel 5. Perbandingan Luas Tulangan Tarik dan Tulangan Susut Model Dinding 4

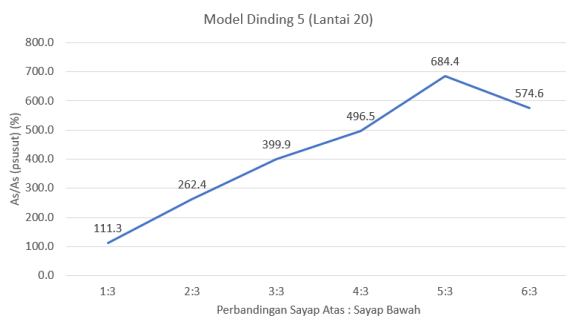
Model	Lantai	F_{Tarik} (kN/m)	As (mm ² /m)	As/As (ρ_{susut}) (%)
1:3-1SR	4	52.26	138.26	80.85
2:3-1SR		91.50	242.06	141.56
3:3-1SR		116.35	307.80	180.00
4:3-1SR		134.26	355.18	207.71
5:3-1SR		146.51	387.59	226.66
6:3-1SR		153.46	405.98	237.42
1:3-1SR	8	43.93	116.21	67.96
2:3-1SR		91.61	242.35	141.73
3:3-1SR		135.48	358.41	209.60
4:3-1SR		171.80	454.49	265.79
5:3-1SR		195.86	518.15	303.01
6:3-1SR		207.80	549.73	321.48
1:3-1SR	12	52.00	137.56	80.45
2:3-1SR		111.48	294.93	172.47
3:3-1SR		167.58	443.34	259.26
4:3-1SR		215.29	569.56	333.08
5:3-1SR		247.40	654.50	382.75
6:3-1SR		263.15	696.17	407.12
1:3-1SR	16	72.65	192.19	112.39
2:3-1SR		151.09	399.72	233.75
3:3-1SR		218.98	579.31	338.78
4:3-1SR		275.21	728.06	425.77
5:3-1SR		311.83	824.94	482.42
6:3-1SR		329.32	871.21	509.48
1:3-1SR	20	59.19	156.58	91.57
2:3-1SR		144.84	383.16	224.07
3:3-1SR		221.83	586.85	343.19
4:3-1SR		280.50	742.06	433.95
5:3-1SR		316.72	837.87	489.98
6:3-1SR		332.22	878.90	513.98



Gambar 12. Kenaikan Nilai As/As (ρ_{susut}) (%) pada Model Dinding 4 Lantai 20

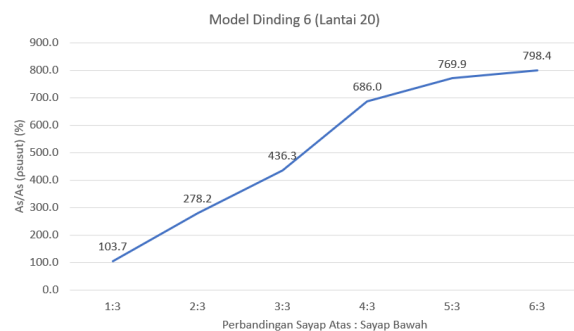
Tabel 6. Perbandingan Luas Tulangan Tarik dan Tulangan Susut Model Dinding 5

Model	Lantai	F_{Tarik} (kN/m)	As (mm ² /m)	As/As (ρ_{susut}) (%)	Model	Lantai	F_{Tarik} (kN/m)	As (mm ² /m)	As/As (ρ_{susut}) (%)
1:3-1SR	4	57.26	151.48	88.58	1:3-1SR	4	68.01	179.92	105.22
2:3-1SR		99.23	262.52	153.52	2:3-1SR		115.27	304.94	178.33
3:3-1SR		124.87	330.34	193.18	3:3-1SR		143.58	379.84	222.13
4:3-1SR		142.56	377.13	220.55	4:3-1SR		193.88	512.91	299.95
5:3-1SR		182.05	481.62	281.65	5:3-1SR		208.72	552.16	322.90
6:3-1SR		159.63	422.30	246.96	6:3-1SR		215.20	569.32	332.94
1:3-1SR	8	50.76	134.28	78.53	1:3-1SR	8	60.73	160.66	93.95
2:3-1SR		103.61	274.09	160.29	2:3-1SR		120.57	318.96	186.53
3:3-1SR		150.49	398.12	232.82	3:3-1SR		172.59	456.59	267.01
4:3-1SR		188.53	498.76	291.67	4:3-1SR		261.27	691.19	404.21
5:3-1SR		255.80	676.71	395.74	5:3-1SR		293.85	777.39	454.61
6:3-1SR		223.06	590.11	345.09	6:3-1SR		307.74	814.14	476.10
1:3-1SR	12	60.26	159.42	93.23	1:3-1SR	12	73.34	194.02	113.46
2:3-1SR		127.73	337.91	197.61	2:3-1SR		148.07	391.72	229.08
3:3-1SR		189.48	501.28	293.14	3:3-1SR		216.44	572.59	334.85
4:3-1SR		240.28	635.66	371.73	4:3-1SR		342.38	905.76	529.69
5:3-1SR		332.48	879.59	514.38	5:3-1SR		386.89	1023.51	598.54
6:3-1SR		287.34	760.17	444.54	6:3-1SR		404.15	1069.18	625.25
1:3-1SR	16	84.71	224.10	131.05	1:3-1SR	16	101.04	267.30	156.32
2:3-1SR		174.73	462.24	270.31	2:3-1SR		202.46	535.61	313.23
3:3-1SR		251.13	664.35	388.51	3:3-1SR		286.81	758.76	443.72
4:3-1SR		309.56	818.95	478.92	4:3-1SR		448.94	1187.67	694.55
5:3-1SR		433.28	1146.24	670.32	5:3-1SR		502.14	1328.42	776.85
6:3-1SR		363.32	961.16	562.08	6:3-1SR		522.57	1382.47	808.46
1:3-1SR	20	71.97	190.40	111.34	1:3-1SR	20	67.04	177.35	103.71
2:3-1SR		169.58	448.62	262.35	2:3-1SR		179.80	475.67	278.17
3:3-1SR		258.50	683.87	399.93	3:3-1SR		282.02	746.10	436.31
4:3-1SR		320.95	849.07	496.53	4:3-1SR		443.41	1173.03	685.98
5:3-1SR		442.41	1170.40	684.44	5:3-1SR		497.65	1316.53	769.90
6:3-1SR		371.42	982.60	574.62	6:3-1SR		516.05	1365.22	798.37



Gambar 13. Kenaikan Nilai As/As (ρ_{susut}) (%) pada Model Dinding 5 Lantai 20

Tabel 7. Perbandingan Luas Tulangan Tarik dan Tulangan Susut Model Dinding 6



Gambar 14. Kenaikan Nilai As/As (ρ_{susut}) (%) pada Model Dinding 6 Lantai 20

Berikut adalah contoh perhitungan untuk memperoleh hasil $\frac{A_s}{A_s(\rho_{susut})}(\%)$, dengan menggunakan model 1:3-1SR untuk Lantai 4:

F_{tarik} adalah resultan dari nilai F_{11} dan F_{22}

$$F_{11} = 19,11 \text{ kN/m}$$

$$F_{22} = 34,89 \text{ kN/m}$$

$$F_{tarik} = \sqrt{F_{11}^2 + F_{22}^2}$$

$$F_{tarik} = \sqrt{19,11^2 + 34,89^2}$$

$$F_{tarik} = 39,78 \text{ kN/m}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan luas tulangan tarik yang diperlukan

$$\phi = 0,9$$

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{F_{tarik}}{\phi * F_y}$$

$$A_s = \frac{39,78 * 1000}{0,9 * 420}$$

$$A_s = 105,2391 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Selanjutnya, kebutuhan luas tulangan susut diperhitungkan sebagai perbandingan dengan luas tulangan tarik yang dibutuhkan karena gaya tarik pada daerah *reentrant corner*

$$\rho_{susut} = 0,0018 * \frac{420}{f_y}$$

$$\rho_{susut} = 0,0018 * \frac{420}{420}$$

$$\rho_{susut} = 0,0018$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = t_{pelat} - \text{selimut beton} - 0,5 d_b$$

$$d = 125 - 25 - 0,5 * (10)$$

$$d = 95 \text{ mm}$$

$$A_s(\rho_{susut}) = \rho_{susut} * b * d$$

$$A_s(\rho_{susut}) = 0,0018 * 1000 * 95$$

$$A_s(\rho_{susut}) = 171 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_s(\rho_{susut})} = \frac{105,2391}{171} * 100\%$$

$$\frac{A_s}{A_s(\rho_{susut})} = 61,5434\%$$

Berdasarkan data tabel diatas, terlihat adanya kenaikan gaya tarik apabila perbandingan panjang sayap atas dan sayap bawah semakin besar. Nilai rata-rata kenaikan gaya tarik (dalam persen) dari perbandingan sayap atas dan sayap bawah 1:3 sampai 6:3 adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Rata-Rata Kenaikan Gaya Tarik

Lantai	Rata-Rata Kenaikan (%)
4	189.97
8	381.82
12	418.72
16	355.72
20	503.66

Nilai kenaikan gaya tarik juga dipengaruhi oleh penempatan posisi *shear wall* pada bagian sayap bawah. Pada model dinding 1, *shear wall* hanya diletakkan pada AS 1A dan 1C. Kemudian pada model dinding 2, *shear wall* ditambahkan pada AS 2A dan 2C dan seterusnya hingga model dinding 6. Berikut ini merupakan tabel kenaikan resultan gaya tarik dari model dinding 1 dan model dinding 6:

Tabel 9. Perbandingan $\bar{F}$ Model 1 dengan Model 6

Lantai	Rata-Rata F (kN/m)		Kenaikan (%)
	Model 1	Model 6	
4	82.00	157.44	92.01
8	69.49	202.79	191.81
12	73.48	261.88	256.42
16	95.53	344.00	260.11
20	94.41	331.00	250.58

Kenaikan gaya tarik berpengaruh langsung terhadap luas tulangan tarik. Berikut ini tabel perbandingan luas tulangan tarik dan tulangan susut pada model dinding 1 dan 6:

Tabel 10. Perbandingan $A_s/A_s(\rho_{susut})$ Model 1 dan Model 6

Lantai	$A_s/A_s(\rho_{susut})$ (%)		Kenaikan (%)
	Model 1	Model 6	
4	126.86	243.58	92.01
8	107.51	313.74	191.81
12	113.67	405.14	256.42
16	147.78	532.19	260.11
20	146.06	512.08	250.58

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis data-data diatas maka dapat disimpulkan:

1. Terjadi kenaikan kebutuhan luas tulangan apabila konfigurasi *shear wall* pada sayap bawah semakin banyak (salah satu sayap relatif lebih kaku dibanding sayap lainnya). Hal tersebut terlihat dari kenaikan nilai $\frac{A_s}{A_s(\rho_{susut})}$ dari model dinding 1 sampai model dinding 6 sebesar 92,01% pada lantai 4, 191,81% pada lantai 8, 256,42% pada lantai 12, 260,11% pada lantai 16 dan 250,59% pada lantai 20.
2. Terjadi kenaikan gaya tarik apabila konfigurasi *shear wall* pada sayap bawah semakin banyak. Hal tersebut terlihat dari kenaikan nilai resultan gaya tarik dari model dinding 1 sampai model dinding 6 sebesar 92,01% pada lantai 4, 191,81% pada lantai 8, 256,42% pada lantai 12, 260,11% pada lantai 16 dan 250,59% pada lantai 20.
3. Keperluan luas tulangan tarik yang terbesar terdapat pada model 6:3-6SR lantai 16 dengan kebutuhan 1382.47 mm². perbandingan luas tulangan tarik dengan luas tulangan susut pada model yang sama adalah 808.46%.
4. Terjadi kenaikan gaya tarik seiring pertambahan panjang sayap atas. Nilai rata-rata kenaikan terkecil pada lantai 4 yaitu sebesar 189,97%, dan nilai rata-rata kenaikan terbesar pada lantai 20 sebesar 503,55%
5. Tegangan dan gaya pada pelat lantai bernilai nol pada model dengan klasifikasi diafragma kaku (*rigid diaphragm*) karena tidak adanya *in-plane deformation* pada elemen pelat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. M. M., Abdel Raheem, S. E., Ahmed, M. M., dan Abdel Shafy, A. G. A. (2016). Irregularity Effects on the Seismic Performance of L-Shaped Multi-Story Buildings. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 44(5), 513–536. <https://doi.org/10.21608/jesaun.2016.111440>
- Alexander, A., Christianto, D., & Pranata, H. (2018). Analisis Pengaruh Fleksibilitas Diafragma Terhadap Distribusi Horizontal Gaya Gempa. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(1), 261. <https://doi.org/10.24912/jmts.v1i1.2265>
- Aziz Ur Rahman, M., & Navilesh Janshetty, A. (2019). “Seismic Effect of Rigid Floor Diaphragm.” *International Research Journal of Engineering and Technology*, 433–441. www.irjet.net
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Sni 1726:2019*, 8, 254.
- Nandeesh.N.H, S. C. ghule, R. kiran. (2018). Comparative Study of Rigid and Flexible Floor Diaphragm. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 05(01), 67–71.
- Shreyasvi C., & Shivakumaraswamy B. (2015). A Case Study on Seismic Response of Buildings with Re Entrant Corners. *International Journal of Engineering Research And*, V4(05). <https://doi.org/10.17577/ijertv4is051043>
- SNI 1727, 2020. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain 1727:2020. Badan Standarisasi Nasional 1727:2020, 8, 1–336.
- SNI 2847,2019. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). Standar Nasional Indonesia (SNI), 8, 653–659.
- Thomas, E., George, J., & Paulose, D. (2017). Assessment of the diaphragm condition for floor systems used in urban buildings. *Engineering Structures*, 93, 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.03.025>
- Tumilar, S. (2022). Desain Diaphragma pada Struktur Beton Bertulang. Diktat UNTAR.
- Yadav, P., & Khuswaha, S. S. (2016). Influence of Floor Diaphragm Building While Considering Seismic Forces. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 5(6), 178–191.