

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

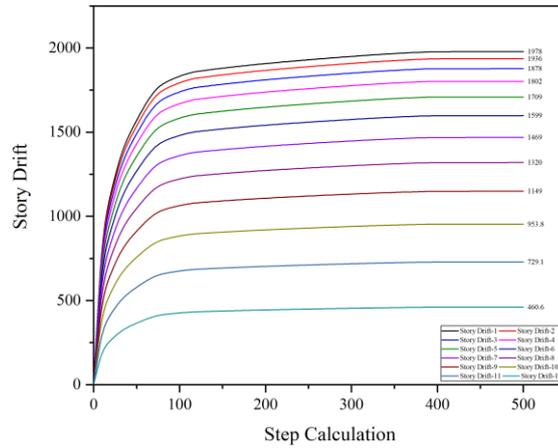
Bab ini memberikan pembahasan tentang hasil dari analisa uji kekuatan bangunan berdasarkan model bangunan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan program *STERA 3D* dengan melakukan 3 (tiga) pemodelan bangunan yang berbentuk model kotak, Model L, dan model U.

4.1. Hasil Analisa Kekakuan

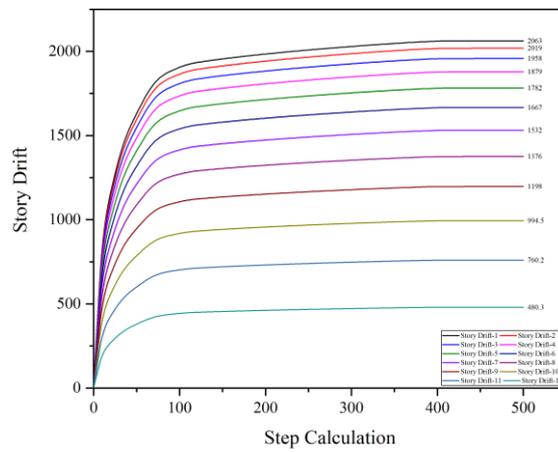
Kekakuan dimodelkan dengan memberikan beban secara bertahap pada arah sumbu X hingga model menunjukkan kerusakan pada perhitungan tertentu. Tiap lantai dari hasil pemodelan yang dilakukan menunjukkan adanya perbedaan yang terjadi pada tiap model yang dilakukan pengujian dengan perbedaan signifikan terjadi pada kekakuan lantai pertama tiap model. Model U menunjukkan nilai kekakuan terbesar yang miliki dari model lainnya dengan kekakuan sebesar 2125 kN dengan kenaikan kekakuan sebesar 7,43% terhadap model kotak dan 3,01% terhadap model L, hal ini diakibatkan model U memiliki penampang yang lebih besar pada arah X.

Tabel 4. 1 Hasil kekakuan tiap model pada masing-masing lantai

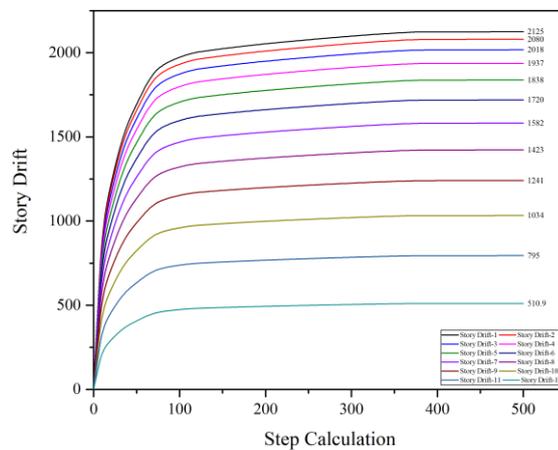
Lantai	Kekakuan	Kekakuan Model	Kekakuan
	Model L (kN)	Kotak (kN)	Model U (kN)
12	480,3	460,6	510,9
11	760,2	729,1	795
10	994,5	953,8	1034
9	1198	1149	1241
8	1376	1320	1423
7	1532	1469	1582
6	1667	1599	1720
5	1782	1709	1838
4	1879	1802	1937
3	1958	1878	2018
2	2019	1936	2080
1	2063	1978	2125



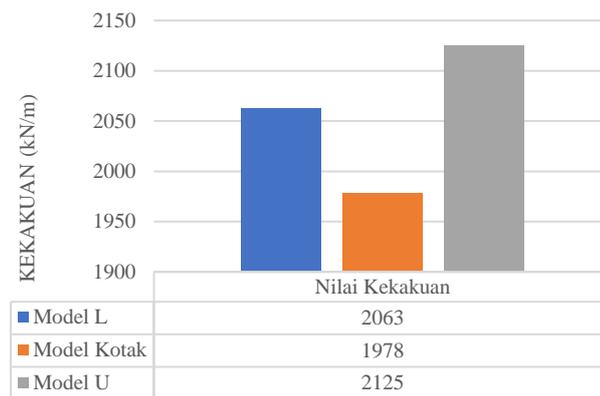
Gambar 4. 1 Kurva hubungan *story drift* dan *step calculation* pada kekakuan tiap lantai model Kotak



Gambar 4. 2 hubungan *story drift* dan *step calculation* pada kekakuan tiap lantai model L



Gambar 4. 3 hubungan *story drift* dan *step calculation* pada kekakuan tiap lantai model U



Gambar 4. 4 Hubungan nilai kekakuan terbesar model L, model Kotak, dan model U

4.2. Perpindahan

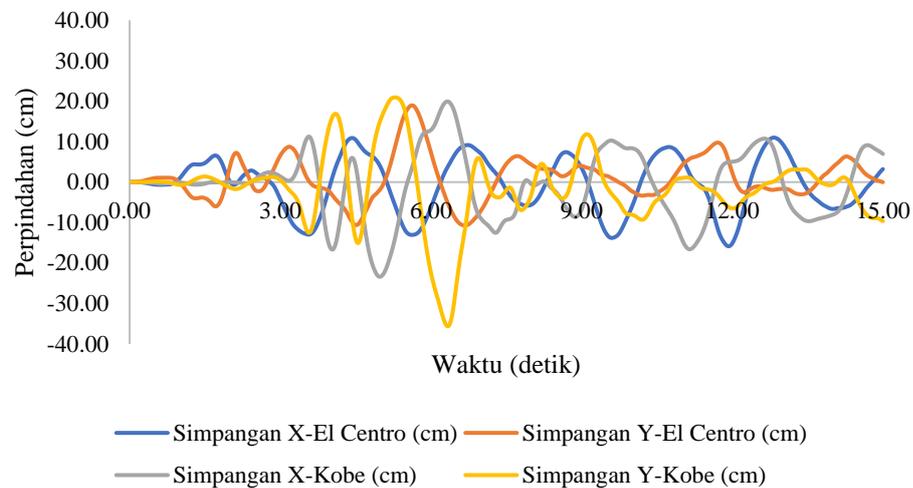
Perpindahan merupakan salah satu ketentuan persyaratan yang digunakan untuk dapat mengetahui keamanan bangunan, dengan mengetahui nilai dari perpindahan maka akan dapat diketahui seberapa besar tingkat kekakuan bangunan tersebut. Perpindahan akibat gaya yang diterima dari struktur dihitung terhadap perpindahan tertentu dari titik kontrol yang disebut dengan target perpindahan sebagai perpindahan maksimum yang dapat terjadi pada struktur pada saat gempa rencana terjadi. Perpindahan memberikan informasi tentang jarak maksimum yang alami oleh model struktur tersebut sehingga pada akhirnya dapat diketahui struktur terbaik dengan perpindahan terkecil. Hasil dari penelitian menunjukkan nilai perpindahan lantai teratas gedung akibat adanya gaya yang diberikan pada lantai dasar oleh adanya pembebanan gempa yang bekerja, perpindahan yang dihasilkan akan menunjukkan nilai maksimum perpindahan yang dialami oleh model. Berikut adalah hasil dari perpindahan yang dialami model akibat gempa El Centro, yaitu:

Tabel 4. 2 Hasil perpindahan maksimum masing-masing model

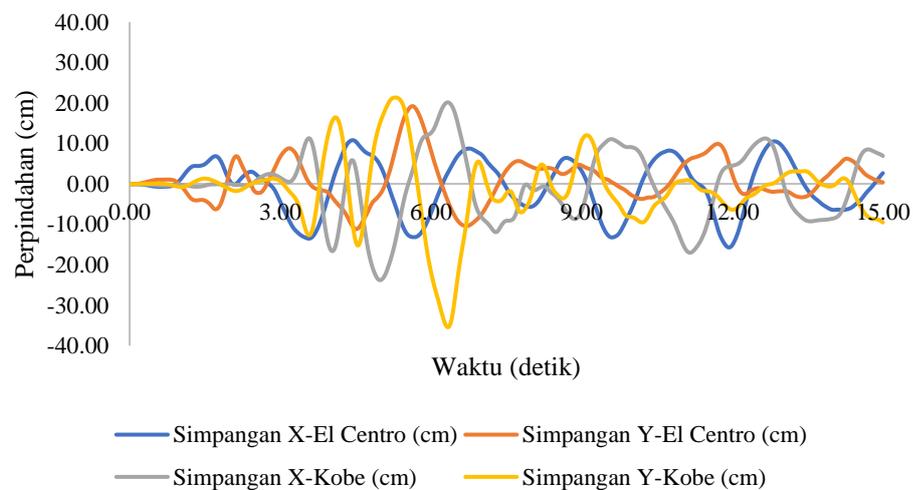
Gedung	Arah	Perpindahan Lateral Gempa El Centro	Perpindahan Lateral Gempa Kobe
Model Kotak	X	15,85	23,4
	Y	18,97	35,64
Model L	X	15,72	23,81
	Y	19,20	35,44
Model U	X	15,15	21,93
	Y	19,5	36

Perpindahan terbesar yang terjadi dari 3 (tiga) model diatas setelah diberikan gaya gempa yang sama maka dihasilkan perpindahan terbesar arah X adalah model Kotak sebesar 15,85 cm serta yang terkecil arah X adalah Model U dengan 15,15 cm dan perpindahan terbesar arah Y adalah model U sebesar 19,5 cm serta perpindahan terkecil arah Y adalah model Kotak sebesar 18,97 cm.

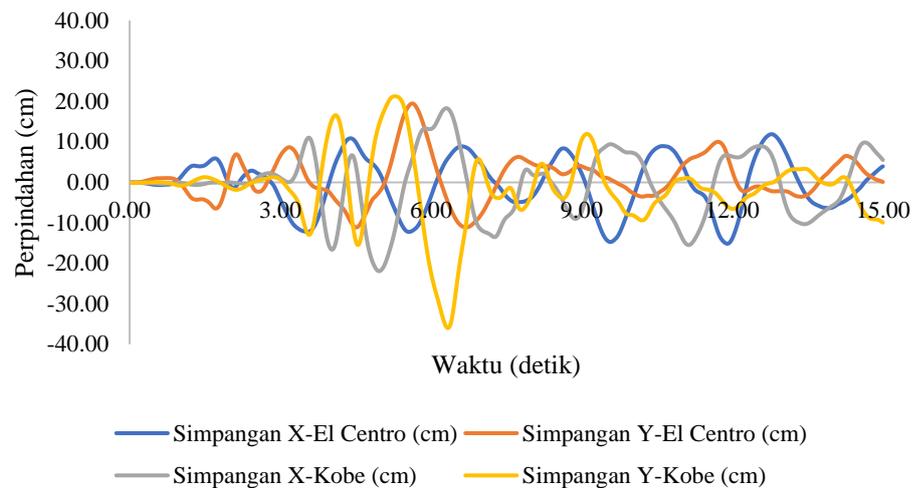
Perpindahan akibat gempa Kobe menunjukkan perpindahan yang cukup signifikan dari gempa El Centro sehingga dilihat hasil perpindahan maksimum yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dari gempa El Centro, perpindahan terbesar yang dihasilkan pada arah X adalah model L yang yaitu 23,81 cm dan perpindahan terbesar pada nilai Y adalah model U yaitu sebesar 36 cm.



Gambar 4. 5 Hubungan perpindahan dan waktu getar gempa model Kotak



Gambar 4. 6 Hubungan perpindahan dan waktu getar gempa model L



Gambar 4. 7 Hubungan perpindahan dan waktu getar gempa model U

4.3. Hubungan Beban dan Perpindahan

Hasil dari penelitian menunjukkan nilai perpindahan lantai teratas gedung dan gaya geser dasar yang dihasilkan oleh beban gempa yang diberikan terhadap tiap model.

Tabel 4. 3 Hasil perpindahan dan beban geser dasar model gempa El Centro

Gedung	Arah	Perpindahan	Gaya Geser Dasar
		Maksimum (cm)	Maksimum (kN)
Model Kotak	X	15,85	1869
Model L	Y	18,97	2020
	X	15,72	1934
Model U	Y	19,20	2126
	X	15,98	1825
	Y	20,17	1974

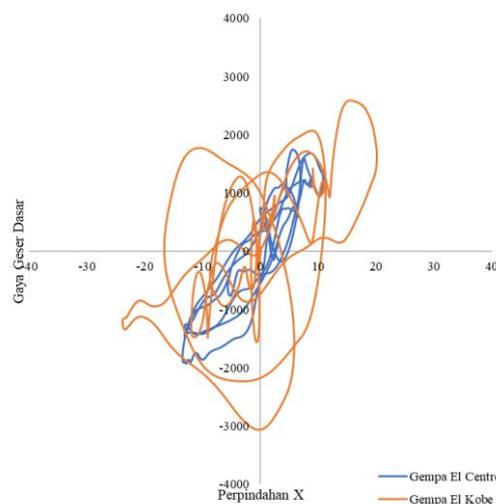
Perpindahan terbesar yang terjadi dari 3 (tiga) model diatas setelah diberikan gaya gempa yang sama maka dihasilkan perpindahan terbesar arah X adalah model U sebesar 15,98 cm dengan gaya geser dasar sebesar 1825 kN serta yang terkecil arah X adalah model L dengan 15,72 cm dengan gaya geser gasar adalah 1934 kN dan perpindahan terbesar arah Y adalah model U sebesar 20,17 cm dengan gaya geser dasar adalah 1974 kN serta perpindahan terkecil arah Y adalah model Kotak sebesar 18,97 cm dengan gaya geser dasar adalah 2020 kN.

Pemodelan dengan menggunakan gempa Kobe sebagai beban pada lantai dasar pada struktur memberikan luasan perpindahan dan gaya yang cukup besar sehingga berdampak signifikan pada tiap model struktur, yaitu:

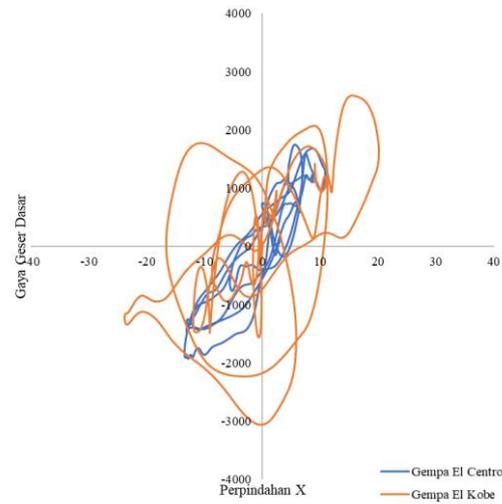
Tabel 4. 4 Hasil perpindahan dan beban geser dasar tiap model gempa Kobe

Gedung	Arah	Perpindahan Maksimum (cm)	Gaya Geser Dasar Maksimum (kN)
Model Kotak	X	23,4	2877
	Y	35,64	2774
Model L	X	23,81	3062
	Y	35,44	2937
Model U	X	23,71	2897
	Y	35,87	2802

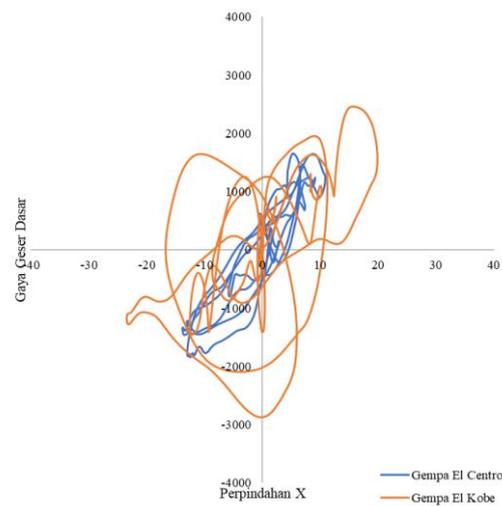
Perpindahan yang terjadi akibat pemberian beban dengan gempa Kobe menghasilkan perpindahan yang lebih besar dari pada gempa El Centro. Gempa perpindahan terbesar pada model Kotak pada arah X adalah sebesar 23,4 cm dengan gaya geser dasar maksimum adalah 2877 kN dan arah Y sebesar 35,64 dengan gaya geser dasar maksimum adalah 2774 kN, model L menghasilkan perpindahan arah X sebesar 23,81 cm dengan gaya geser dasar maksimum adalah 3062 dan arah Y sebesar 35,44 cm dengan gaya geser dasar maksimum adalah 2937 kN, adapun model U menghasilkan perpindahan arah X sebesar 23,71 cm dengan gaya geser dasar maksimum adalah 2897 kN dan arah Y sebesar 35,87 cm dengan gaya geser dasar maksimum sebesar 2802 kN.



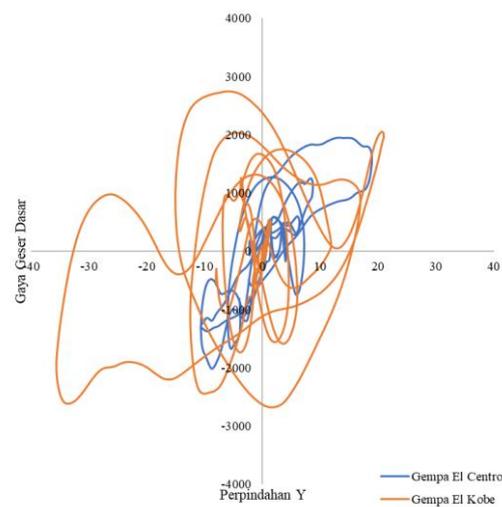
Gambar 4. 8 Hubungan gaya geser dasar dan perpindahan model kotak arah X



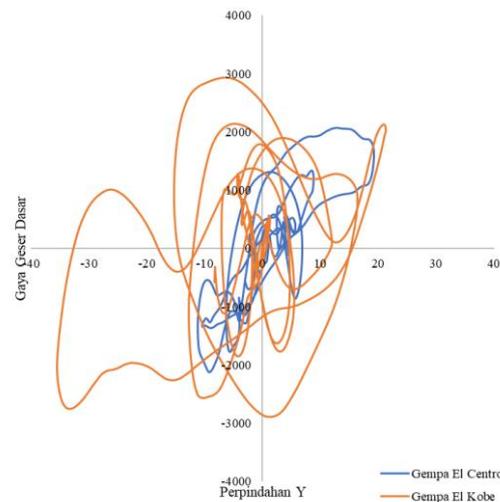
Gambar 4. 9 Hubungan gaya geser dasar dan perpindahan model L arah X



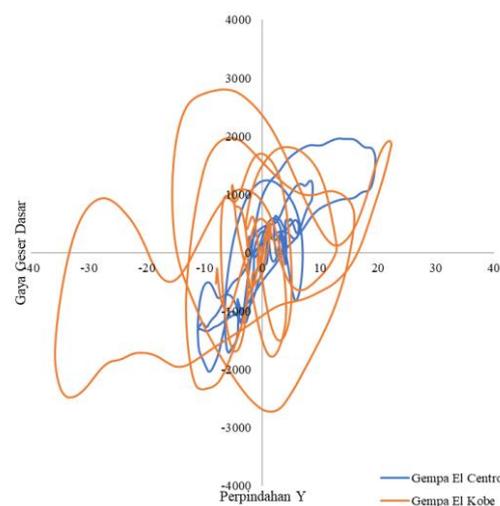
Gambar 4. 10 Hubungan gaya geser dasar dan perpindahan model U arah X



Gambar 4. 11 Hubungan gaya geser dasar dan perpindahan model kotak arah Y



Gambar 4. 12 Hubungan gaya geser dasar dan perpindahan model L arah Y



Gambar 4. 13 Hubungan gaya geser dasar dan perpindahan model kotak arah Y

4.4. Percepatan Maksimum

Percepatan yang dimiliki struktur dipengaruhi oleh rasio antar respons yang terjadi antar suatu lantai dengan lantai dibawahnya. Semakin kecil rasio yang dimiliki antar lantai maka akan semakin besar nilai percepatan maksimum yang dimiliki struktur tersebut sebelum struktur mengalami kerusakan struktural.

Hasil percepatan masing-masing model struktur dengan gempa El Centro menunjukkan nilai percepatan terendah selalu terjadi pada pertengahan pada lantai pemodelan yaitu lantai ke-7 untuk percepatan terendah arah X dan lantai ke-8 untuk percepatan arah Y. Nilai percepatan tertinggi selalu terjadi pada lantai-lantai bawah tiap pemodelan yaitu lantai ke-1 untuk arah X dan lantai ke-2 untuk arah Y.

Tabel 4. 5 Nilai percepatan maksimum masing-masing model gempa El Centro

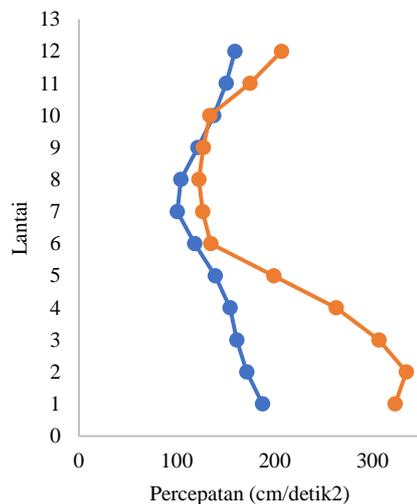
Lantai	Model L		Model Kotak		Model U	
	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)
12	159,5	207	160,3	212,9	160,8	203,8
11	150,6	174,7	153,1	179,7	151,7	168,9
10	137,8	133,8	141,2	137,4	138,8	133,4
9	121,7	127,2	125,5	128,2	122,3	125
8	104	122,6	108,4	122,9	104,4	120,8
7	100,6	126,4	103,2	127,3	103,1	123,7
6	118,4	134,6	120	136,4	119,9	134,4
5	139,2	199,1	141,8	197,3	140,4	204,8
4	154,3	263,1	158,1	262,7	153,9	266,7
3	161,5	306,7	164,9	306,4	160,2	311,3
2	171,4	334,6	174,2	334,5	170,5	338,3
1	187,7	323	189,2	323,2	187,7	323,7

Pada pemodelan dengan menggunakan gempa Kobe sebagai gempa maka dapat dilihat bahwa percepatan terbesar terjadi pada lantai pertama dengan nilai tiap model tidak berbeda secara signifikan dengan nilai percepatan terbesar terdapat pada model Kotak terjadi pada lantai pertama pada arah Y percepatan sebesar 760,8 cm/dt² dan percepatan terkecil terjadi pada lantai ke delapan pada model L pada arah X dengan percepatan sebesar 141,8 cm/dt².

Tabel 4. 6 Nilai percepatan maksimum masing-masing model gempa Kobe

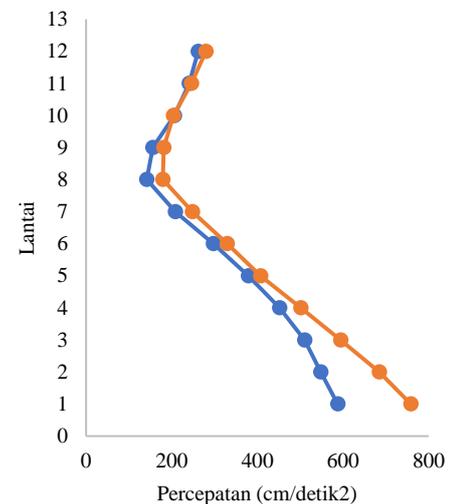
Lantai	Model L		Model Kotak		Model U	
	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)
12	262	280,1	261,8	282,3	263,5	282,9
11	240,9	246,1	241,8	249,5	241,5	245,2
10	206	204,2	206,1	207,4	204,4	199,4
9	155,6	181,6	157,4	183,5	152,5	174,7
8	141,8	179,3	145,3	177,9	144,3	172,6

Lantai	Model L		Model Kotak		Model U	
	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)	Percepatan X (cm/dt ²)	Percepatan Y (cm/dt ²)
7	208,3	248,3	207,5	250,4	212,2	245,9
6	297,1	329,7	295,3	331,5	301	329
5	379	407,9	377,8	410,1	383,2	409,8
4	452,1	501,7	452,4	501,8	455,5	505,2
3	510,8	595	513	595,3	512,5	598,1
2	548,4	684,9	550,2	684,8	550,7	686,1
1	587,8	758,7	587,8	760,8	587,9	758,1



—●— Percepatan-X —●— Percepatan-Y

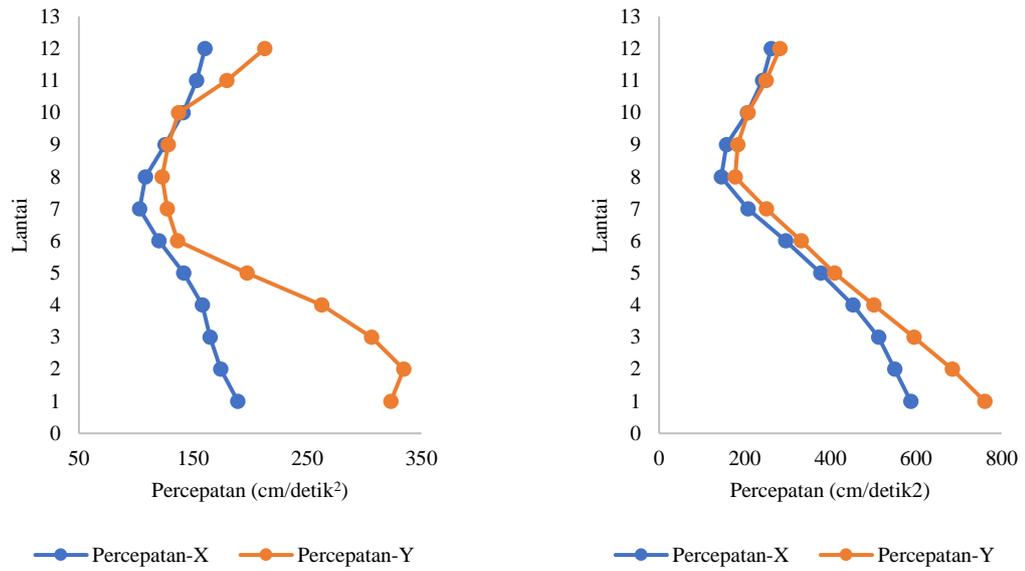
(a)



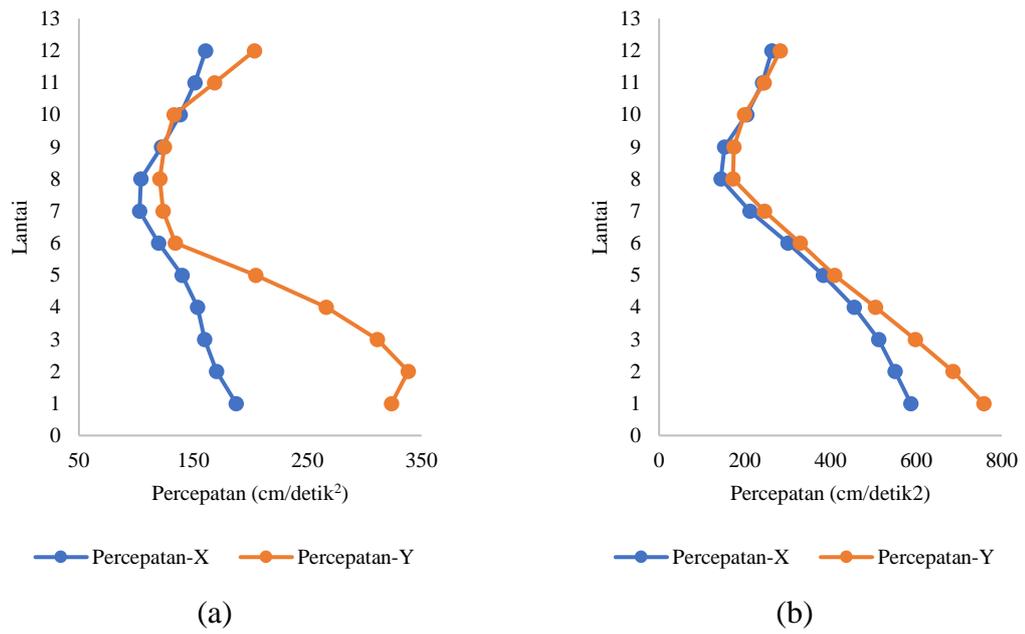
—●— Percepatan-X —●— Percepatan-Y

(b)

Gambar 4. 14 (a) Percepatan model L gempa El Centro (b) Percepatan model L gempa Kobe



Gambar 4. 15 (a) Percepatan model Kotak pada gempa El Centro (b) Percepatan model Kotak gempa Kobe



Gambar 4. 16 (a) Percepatan model U pada gempa El Centro (b) Percepatan model U gempa Kobe

4.5. Histerisis Energi (HE)

Histerisis energi merupakan luasan total dari besarnya energi yang terjadi pada setiap siklus. Kemampuan struktur untuk menyerap dan meredam beban menjadi tinjauan untuk mengetahui kemampuan untuk mempertahankan strukturnya.

Metode trapezoidal dengan banyak pias digunakan untuk menghitung histerisis energi berdasarkan luasan total energi dan terjadi menggunakan integrasi numerik. Hasil dari perhitungan histerisis energi pada struktur model L, model Kotak dan Model U dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Nilai histerisis energi hasil analisis gempa El Centro

Benda Uji	Pembebanan	Perpindahan Lateral	Histerisis Energi (HE)
	(N)	(mm)	Total (N.mm)
Model L	311900	192	59884800
Model Kotak	300600	189,7	57023820
Model U	301300	201,7	60772210

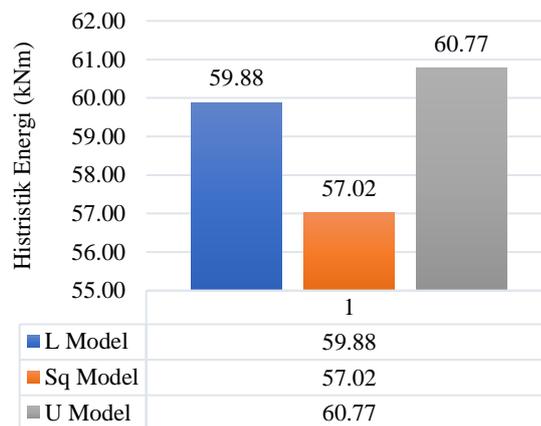
Pemodelan struktur dengan gempa El Centro menunjukkan model U memiliki nilai histerisis energi paling besar yaitu sebesar 60772210 Nmm, kemudian struktur model L memiliki nilai histerisis energi sebesar 57023820 Nmm dan model Kotak memiliki histerisis energi paling kecil yaitu sebesar 57023820 Nmm. Perbedaan yang dimiliki oleh tiap model struktur cukup besar diakibatkan adanya beban yang tidak terdistribusi secara baik pada keseluruhan model.

Tabel 4. 8 Nilai histerisis energi hasil analisis gempa Kobe

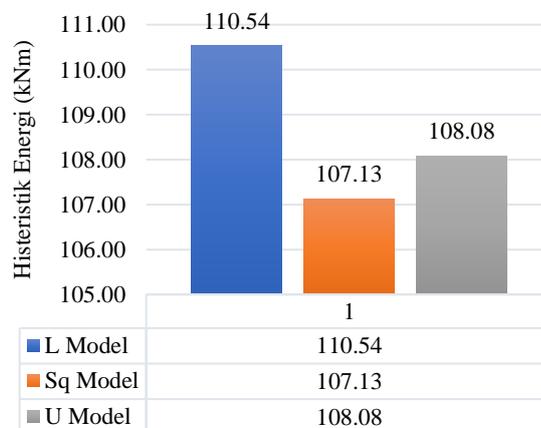
Benda Uji	Pembebanan	Perpindahan Lateral	Histerisis Energi (HE)
	(N)	(mm)	Total (N.mm)
Model L	311900	354,4	110537360
Model Kotak	300600	356,4	107133840
Model U	301300	360	108468000

Hasil dari pemodelan dengan beban gempa menunjukkan nilai histerisis energi paling besar dimiliki oleh model L dengan energi histerisis energi sebesar 110537360 Nmm. Histerisis energi yang semakin besar yang terjadi pada model

struktur maka struktur tersebut memiliki tingkat keruntuhan yang semakin rendah, memiliki kekakuan yang lebih rencah serta memiliki perpindahan lateral yang besar juga, sehingga dapat diketahui bahwa nilai histerisis energi yang semakin kecil akan memberikan tingkat keruntuhan struktur yang lebih tinggi serta tingkat kekakuan yang lebih rendah.



Gambar 4. 17 Hubungan nilai histerisis energi model L, model Kotak, model U dengan gempa El Centro



Gambar 4. 18 Hubungan nilai histerisis energi model L, model Kotak, model U dengan gempa Kobe

Grafik histerisis energi menunjukkan perbedaan yang dihasilkan oleh model dengan pembebanan gempa El Centro dan Kobe sehingga dapat dilihat bahwa pada pembeban gempa El Centro nilai histerisis energi yang dihasilkan terbesar dimiliki oleh model L sedangkan pada gempa Kobe nilai histerisis energi terbesar dihasilkan oleh model U.

4.6. Rekap Hasil

Tabel 4. 9 Rekap hasil model struktur

	Baik	Sedang	Kurang
Kekakuan arah X (kN)	U: 2125	L: 2063	□: 1978
Perpindahan gempa El Centro (cm)	U: 19,5	L: 19,20	□: 18,97
Perpindahan gempa Kobe (cm)	U: 36	□: 35,64	L: 34,44
Beban gempa mak. terhadap perpindahan gempa di El Centro (kN)	L: 2126	□: 2020	U: 1974
Beban gempa mak. terhadap perpindahan perpindahan gempa Kobe (kN)	L: 3062	U: 2897	□: 2877
Percepatan gempa El Centro (cm/dt ²)	U: 338,3	L: 334,6	□: 334,5
Percepatan gempa Kobe (cm/dt ²)	□ : 760,8	L: 758,7	U: 758,51
Energi histerisis gempa El Centro (kN)	U: 60,77	L: 59,88	□: 57,02
Energi histerisis gempa Kobe (kN)	L: 110,54	U: 108,88	□: 107,13

U : Penampang U

L : Penampang L

□ : Penampang kotak

Berdasarkan Tabel 4.9, karakteristik tiap penampang adalah sebagai berikut ini.

1. U : perpindahan terbesar pada gempa El Centro dan Kobe, beban gempa terkecil pada gempa El Centro, percepatan gempa terkecil, energi histerisis terbesar pada gempa El Centro, hal ini disebabkan karena model struktur U

mampu menahan gaya arah X tetapi lemah terhadap gaya arah Y dan banyaknya sudut siku bidang struktur sebagai titik lemah dari struktur.

2. L : perpindahan terkecil pada gempa Kobe, beban gempa terbesar pada gempa El Centro dan Kobe, energi histerisis terbesar pada gempa Kobe, hal ini dikarenakan struktur lebih stabil untuk menahan gaya arah X dan Y akibat dari panjang struktur dari kedua arah lebih besar akan tetapi struktur ini memiliki satu sudut siku sebagai titik lemah dari struktur.
3. □ : perpindahan terbesar pada gempa El Centro, beban terkecil pada gempa Kobe, percepatan terkecil gempa El Centro energi histerisis terkecil pada gempa El Centro dan Kobe, hal ini dikarenakan model struktur dengan penampang kotak dapat lebih stabil menahan gaya dari arah X dan Y serta struktur ini tidak memiliki sudut siku sehingga tidak memiliki sudut lemah dari struktur.