

Studi Numerik Tingkat Kekuatan Bangunan Struktur Beton Bertulang Dengan Variasi Penampang Horizontal

Numerical Study of the Level of Strength of Reinforced Concrete Buildings with Horizontal Cross-Section Variations

Yanuar Ade Putra, Fadillawaty Saleh, Fanny Monika

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Bangunan gedung memiliki fungsi yang penting yaitu sebagai tempat manusia melakukan berbagai aktivitas kegiatan baik berupa kegiatan keagamaan, kegiatan sosial, kegiatan bisnis, kegiatan usaha dan kegiatan lainnya. Dalam banyak aspek bentuk gedung menjadi pertimbangan penting ketika dilakukannya perencanaan terhadap bangunan yang akan dibuat. Model bangunan yang digunakan terbagi menjadi tiga model utama bangunan paling umum diterapkan yaitu: model bangunan kotak, model L dan model U. Program STERA 3D difungsikan sebagai perangkat lunak pembantu untuk agar dapat diketahui nilai-nilai kekuatan struktur dengan memberikan beban gempa menggunakan metode sejarah waktu pada masing-masing model struktur. Gempa El Centro dan gempa Kobe menjadi gempa yang ujikan dalam model struktur ini karena memiliki nilai kerusakan terbesar pada sejarah bencana akibat gempa. Hal-hal yang menjadi penilaian terhadap model struktur yang diujikan berupa nilai kekakuan struktur, perpindahan terbesar pada struktur, hubungan perpindahan dan beban maksimum yang dialami struktur serta energi histerisis yang dialami struktur tersebut, sehingga dapat pada akhirnya dapat disimpulkan model struktur yang paling kuat dalam menahan beban yang bekerja. Hasil pada penelitian menunjukkan model U memiliki nilai kekakuan terbesar dengan kenaikan kekakuan sebesar 7,43% terhadap model kotak dan 3,01% terhadap model L.

Kata kunci : modeling struktur, STERA 3D, time history, histerisis, percepatan struktur, dan kekakuan struktur

Abstract. Building has an important function, namely as a place for humans to carry out various activities in the form of religious activities, social activities, business activities, business activities and other activities. In many aspects the shape of the building is an important consideration when planning the building to be made. The building model used is divided into three main models of the most commonly applied buildings, namely: the box building model, the L model and the U model. The 3D STERA program functions as auxiliary software to determine the strength values of the structure by giving earthquake loads using the historical time on each structure model. The El Centro earthquake and the Kobe earthquake were the earthquakes that were tested in this structural model because they had the greatest damage to the history of the earthquake caused by the earthquake. The things that are assessed on the structural model tested are in the form of structural rigidity, the greatest displacement in the structure, the relationship between the structure and the maximum load experienced by the structure and energy hysteresis experienced by the structure, so that it can finally be concluded load that works. The results of the study show that the U model has the largest stiffness value with a stiffness increase of 7.43% to the box model and 3.01% to the L. model.

Key words: structural modeling, 3D STERA, time history, hysteresis, structural acceleration, and structural stiffness

1. Pendahuluan

Bangunan gedung merupakan hal yang penting dalam masa ini sebagai fungsi dari berbagai aktivitas manusia dalam melakukan berbagai kegiatan antara lain yang terkait ekonomi, sosial, hunian dan sebagainya. Menurut FEMA-426 tahun 2011 *Buildings and Infrastructure Protection Series* arsitektur bangunan dapat dibagi menjadi beberapa kelompok utama berdasarkan tata letak maka bangunan dapat dikelompok beberapa bentuk sehingga dilakukannya studi tentang kekuatan bangunan dengan variasi penampang horizontal.

Sistem horizontal mencakup pengaku-pengaku horizontal atau horizontal *bracing* berupa rantai dan sistem *deck framing* yang biasa disebut dengan diafragma horizontal. (Majore, 2015).

Menurut Weningtyas, (2017) melakukan penelitian tentang sambungan balok-kolom pada beton *pracetak* untuk mengetahui nilai *daktilitas*, *disipasi* energi, kekakuan, tegangan regangan, dan pola retak berdasarkan variasi dimensi kolom untuk mengetahui kekuatan struktur akibat gaya-gaya yang bekerja setiap perubahan dimensi yang dilakukan secara bertahap.

Adanya gaya yang terjadi pada tingkat-tingkat tersebut maka akan mengakibatkan terjadinya perpindahan dan simpangan (Cornelis, Bunganaen, & Uumbu Tay, 2014).

Massinai dkk. (2016) menyatakan bahwa percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan terbesar pada permukaan yang pernah terjadi di suatu wilayah dalam periode waktu tertentu akibat getaran gempa.

Kapojos dkk. (2015) menyatakan untuk keperluan bangunan tahan gempa, harga percepatan tanah dapat dihitung dengan cara pendekatan dari data historis gempa bumi.

Louzai & Abed, (2014) melakukan penelitian tentang perilaku struktur beton bertulang bertingkat banyak dengan perbandingan 3 lantai, 7 lantai, dan 9. Hasil untuk metode analisis inkremental dinamis untuk bangunan 3 lantai sebesar 2,32, 6 lantai sebesar 2,43 dan 9 lantai sebesar 2,48.

Pavel, (2018) melakukan penelitian terhadap beton bertulang yang dirancang dalam kondisi seismik digunakan bangunan 5-11 lantai. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat keruntuhan bangunan untuk empat model struktur yang

dianalisis berada dalam kisaran 4×10^{-4} hingga 10^{-5} cm.

Li, dkk. (2016) melakukan penelitian tentang optimasi bangunan bertingkat tinggi pada kapasitas runtuh untuk desain seismik. Hasil menunjukkan bahwa pengurangan kemungkinan runtuh mencapai kisaran 23,75-44,18% untuk kerangka RC 4 hingga 10 lantai.

Brunesi, dkk. (2016) melakukan penelitian tentang analisis seismik pada bangunan tingkat berulang tinggi dengan tambahan mega-core. Hasilnya menunjukkan perpindahan puncak dalam kasus yang paling tinggi yaitu 0,77 meter dan 1,83 meter.

Lu, dkk. (2015) melakukan penelitian tentang elemen dinding geser yang dilakukan analisis non linier pada bangunan tingkat tinggi. Hasilnya perpindahan yang dialami puncak struktur yaitu sebesar 1,791 meter untuk arah X dan 1,580 untuk arah Y

2. Data Penelitian

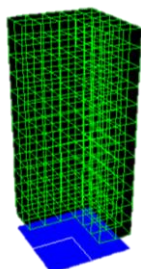
Data diperoleh berdasarkan hasil tinjauan teori-teori sebelumnya sehingga didapatkan data dibawah ini.

Tabel 1 Data model struktur

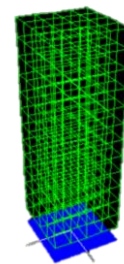
Deskripsi Gedung	Dimensi Model Struktur		
	Model Kotak	Model L	Model U
Jumlah lantai	12 Lantai	12 Lantai	12 Lantai
Tinggi Total Bangunan	60 meter	60 meter	60 meter
Tinggi Lantai	5 meter	5 meter	5 meter
Lebar Bangunan Total	20 meter	25 meter	30 meter
Panjang Bangunan Total	20 meter	25 meter	15 meter
Luas Total Bangunan	400 m ²	400 m ²	400 m ²

3. Pemodelan Struktur

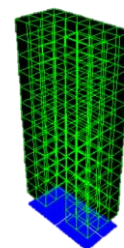
Pengujian dilakukan dengan melakukan pemodelan sehingga didapatkan hasil perbandingan pada tiap pengujian. Struktur dimodelkan dengan sistem rangka terbuka dengan gaya berasal dari berat struktur dan gempa. Program yang digunakan pada penelitian ini adalah *STERA 3D v9.6*.



Gambar 1 Pemodelan struktur tipe L



Gambar 2 Pemodelan struktur tipe Kotak



Gambar 3 Pemodelan struktur tipe U

Pemodelan yang dilakukan dengan memberikan gempa El Centro memiliki kekuatan percepatan yaitu: 210,1 cm/dt² pada arah timur-barat, 314,7 cm/dt² pada arah utara-selatan dan 206,3 cm/dt² pada arah vertikal.

Gempa Kobe memiliki percepatan yang jauh lebih besar dari gempa El Centro yaitu: 617,1 cm/dt² pada arah timur-barat, 817,8 cm/dt² pada arah utara-selatan dan 332,2 cm/dt² pada arah vertical

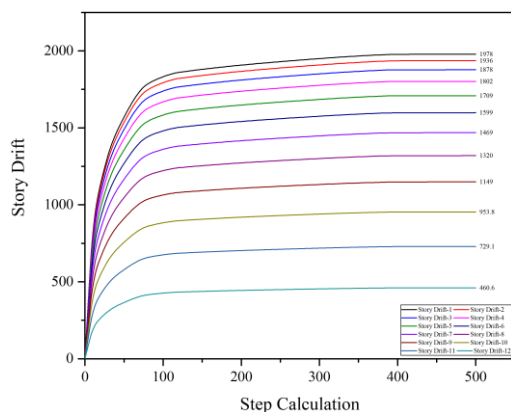
4. Hasil dan Pembahasan

a. Analisa Kekakuan

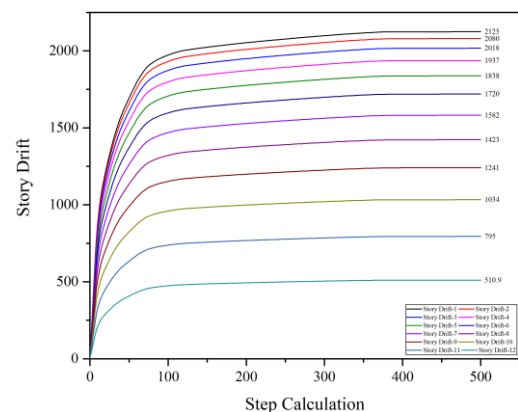
Perbedaan signifikan terjadi pada kekakuan lantai pertama tiap model. Model U menunjukkan nilai kekakuan terbesar yang miliki dari model lainnya dengan kekakuan sebesar 2125 kN dengan kenaikan kekakuan sebesar 7,43% terhadap model kotak dan 3,01% terhadap model L, hal ini diakibatkan model U memiliki penampang yang lebih besar pada arah X.

Tabel 2 Hasil kekakuan tiap model pada masing-masing lantai

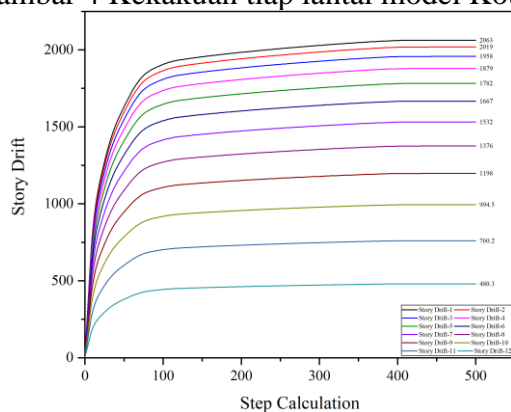
Lantai	Kekakuan Model L (kN)	Kekakuan Model Kotak (kN)	Kekakuan Model U (kN)
12	480,3	460,6	510,9
11	760,2	729,1	795
10	994,5	953,8	1034
9	1198	1149	1241
8	1376	1320	1423
7	1532	1469	1582
6	1667	1599	1720
5	1782	1709	1838
4	1879	1802	1937
3	1958	1878	2018
2	2019	1936	2080
1	2063	1978	2125



Gambar 4 Kekakuan tiap lantai model Kotak



Gambar 6 Kekakuan tiap lantai model U



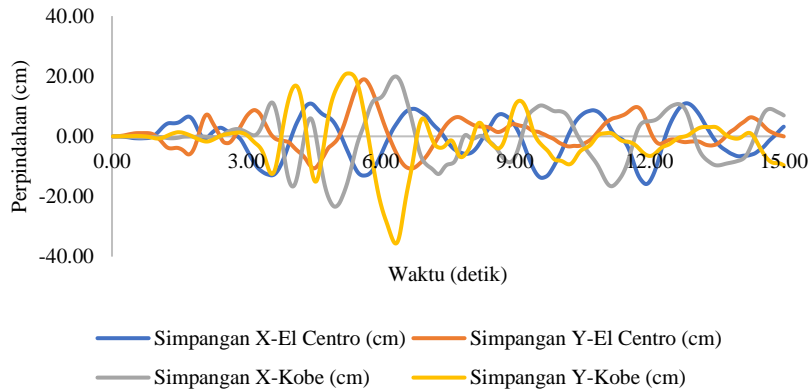
Gambar 5 Kekakuan tiap lantai model L

b. Simpangan Lateral

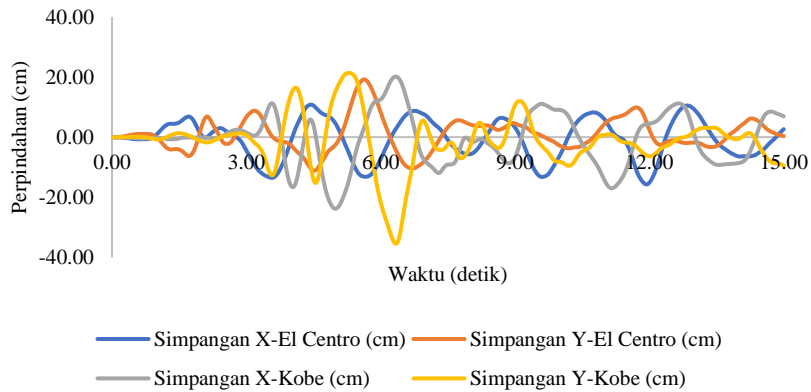
Simpangan lateral akibat gaya yang diterima dari struktur dihitung terhadap perpindahan tertentu dari titik kontrol yang disebut dengan target perpindahan sebagai perpindahan maksimum yang dapat terjadi pada struktur pada saat gempa rencana terjadi. Hasil dari penelitian menunjukkan perpindahan yang dihasilkan akan berupa nilai maksimum perpindahan yang dialami oleh model.

Tabel 3 Hasil simpangan lateral maksimum masing-masing model

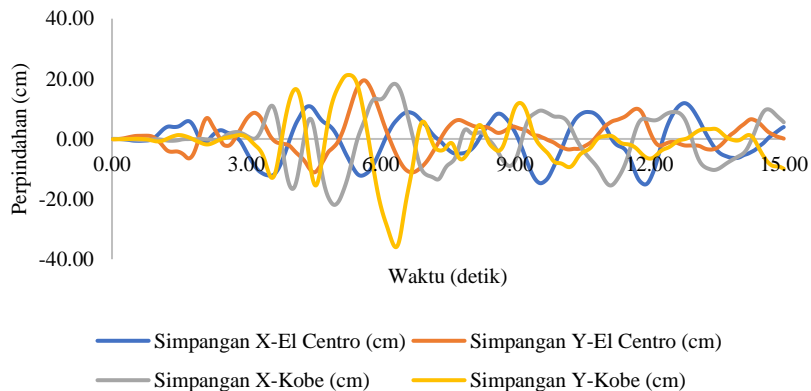
Gedung	Arah	Simpangan Lateral Gempa El Centro	Simpangan Lateral Gempa Kobe
Model Kotak	X	15,85	23,4
	Y	18,97	35,64
Model L	X	15,72	23,81
	Y	19,20	35,44
Model U	X	15,15	21,93
	Y	19,5	36



Gambar 7 Simpangan lateral model Kotak



Gambar 8 Simpangan lateral model L



Gambar 9 Simpangan lateral model U

Perpindahan terbesar yang terjadi dari 3 (tiga) model diatas setelah diberikan gaya gempa El Centro 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. Hasil perpindahan memiliki nilai yang lebih besar dari gempa El Centro, perpindahan

terbesar yang dihasilkan pada arah X adalah model L yang yaitu 23,81 cm serta yang terkecil arah X adalah Model U dengan 21,93 cm dan perpindahan terbesar pada nilai Y adalah model U yaitu sebesar 36 cm serta yang terkecil arah Y adalah Model U dengan 35,44 cm.

c. Hubungan Beban dan Simpangan Lateral

Hasil dari penelitian menunjukkan nilai perpindahan lantai teratas gedung dan gaya geser dasar yang dihasilkan oleh beban gempa yang berikan terhadap 3 (tiga) model, yaitu:

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

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

Tabel 5 Hasil perpindahan maksimum 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	36	2802

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.

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 kN 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 36 cm dengan gaya geser dasar maksimum sebesar 2802 kN

d. Percepatan Maksimum

Semakin kecil rasio yang dimiliki antar lantai maka akan semakin besar nilai percepatan maksimum yang dimiliki struktur tersebut

sehingga struktur semakin mudah mengalami menunjukkan hasil percepatan yang dimiliki kerusakan struktural. Hasil penelitian struktur tersebut ditunjukkan pada tabel.

Tabel 6 Nilai percepatan maksimum 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

Tabel 7 Nilai percepatan maksimum 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
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

Hasil percepatan masing-masing model struktur menunjukkan nilai percepatan terendah selalu terjadi pada pertengahan pada lantai pemodelan yaitu lantai ke-7 untuk percepatan terendah arah X yaitu model L sebesar 100,6 cm/dt² dan lantai ke-8 untuk percepatan arah Y yaitu model Kotak sebesar 122,9 cm/dt². 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. Pemodelan dengan menggunakan gempa Kobe sebagai percepatan gempa terbesar terjadi pada lantai pertama dengan nilai percepatan terbesar

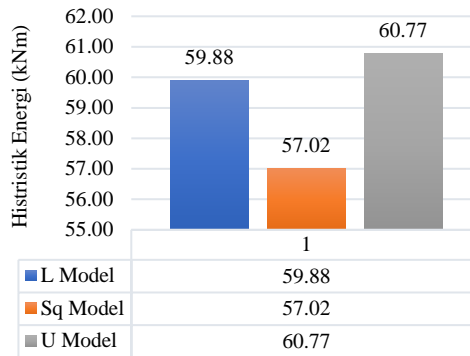
terdapat pada model Kotak terjadi pada lantai pertama pada arah Y percepatan sebesar 760,8 cm/dt² dan percepatan terkecil terjadi pada lantai ke delapan pada model L pada arah X dengan percepatan sebesar 141,8 cm/dt².

e. Histerisis Energi

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.

Tabel 8 Nilai histerisis energi hasil analisis gempa El Centro

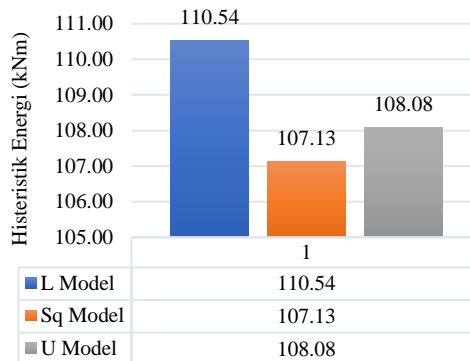
Benda Uji	Pembebanan (N)	Simpangan Lateral (mm)	Histerisis Energi (HE) (N.mm)
Model L	311900	192	59884800
Model Kotak	300600	189,7	57023820
Model U	301300	201,7	60772210



Gambar 10 Nilai histerisis dengan gempa El Centro

Tabel 4. 1 Nilai histerisis energi hasil analisis gempa Kobe

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



Gambar 11 Nilai histerisis dengan gempa Kobe

Grafik histerisis energi menunjukkan perbedaan yang dihasilkan oleh model dengan pembebanan gempa El Centro dan Kobe sehingga dapat dilihat bahwa pada pembebanan 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.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pemodelan variasi penampang horizontal dengan bantuan *software* STERA 3D, maka dapat ditarik kesimpulan berikut ini.

- Model struktur tipe L memiliki nilai kekakuan terbesar sebesar 2063 kN, model struktur tipe kotak memiliki nilai kekakuan sebesar 1978 kN, dan model struktur tipe U memiliki nilai kekakuan sebesar 2125 kN.
- Perpindahan gempa El Centro: model U menghasilkan perpindahan terbesar 20,17 cm. Perpindahan gempa Kobe: model U menghasilkan perpindahan terbesar 35,87 cm,
- Hubungan antara beban dan perpindahan yang terjadi menunjukkan bahwa model tipe L memiliki kekakuan terbesar ditinjau dari

gaya geser dasar menunjukkan pada gempa El Centro yaitu nilai simpangan lateral 19,20 dengan beban sebesar 2126 kN, sedangkan pada gempa Kobe model L memiliki kekakuan dengan menunjukkan simpangan lateral 23,81 cm dengan beban sebesar 3062 kN.

- d. Percepatan terbesar yang terjadi pada struktur pada gempa El Centro dihasilkan oleh struktur model U dengan percepatan terbesar adalah 338,3 cm/dt² dan pada gempa Kobe dihasilkan oleh struktur model kotak dengan percepatan terbesar adalah 760,8 cm/dt².
- e. Energi histerisis terkecil yang dihasilkan oleh gempa El Centro dihasilkan oleh model struktur tipe Kotak sebesar 57023820 Nmm dan pada gempa Kobe dihasilkan energi histerisis terkecil pada tipe Kotak sebesar 107133840 Nmm.
- f. Disimpulkan bahwa model struktur tipe Kotak yang memiliki struktur paling stabilitas, karena model struktur tipe Kotak menghasilkan simpangan lateral cukup kecil pada gempa El Centro yaitu 15,85 cm dengan pembebanan 1869 kN pada arah X dan 18,97 dengan pembebanan 2020 pada arah Y sedangkan pada gempa Kobe dihasilkan simpangan sebesar 23,4 cm dengan pembebanan 2877 kN pada arah X dan 35,64 cm dengan pembebanan 2774 kN pada arah Y, nilai kekakuan yang dimiliki oleh model struktur yaitu 1978 kN, dan nilai energi histerisis yang terjadi yaitu pada gempa El Centro sebesar 57023820 Nmm dan pada gempa Kobe sebesar 107133840 Nmm.

6. Datar Pustaka

- Cornelis, R. B., & Umbu, T. B. (2014). Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat, Gaya Geser Dasar, Perpindahan Tingkat, dan Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Berdasarkan Peraturan Gempa SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. *Jurnal Teknik Sipil Vol. III, No. 2*, 205-216.
- E. Brunesi, L. Casagrande, & R. Nascimbene. (2016). Seismic analysis of high-rise mega-braced frame-core buildings. *Engineering Structures 115 (2016) 1-17*, 1-17.
- Kapojos, C. G., Tamuntuan, G., & Pasau, G. (2015). Analisis Percepatan Tanah Maksimum dengan Menggunakan Rumus Esteve dan Donovan (Studi Kasus pada Semenanjung Utara Pulau Sulawesi). *Jurnal Ilmiah Vol. 15 No. 2*, 99-104.
- Li, S., Yu, B., Gao, M., & Zhaia, C. (2019). Optimum seismic design of multi-story buildings for increasing collapse resistant capacity. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering 116 (2019) 495-510*, 495-510.
- Louzaï, A., & Abed, A. (2014). Evaluation of the seismic behavior factor of reinforced concrete frame structures based on comparative analysis between non-linear static pushover and incremental dynamic analyses. *Bull Earthquake Eng DOI 10.1007/s10518-014-9689-7*, 1773-1793.
- Lu, X., Xie, L., Guan, H., Huang, Y., & Lu, X. (2015). A shearwallelementfor nonlinear seismic analysis of super-tall buildings using OpenSees. *Finite Elements in Analysis and Design 98 (2015) 14-25*, 14-25.
- Majore, B. O. (2015). Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser. *Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.6 Juni 2015 (435-446) ISSN: 2337-6732*, 435-446.
- Massinai, M. M., Massinai, K., Virman, Lantu, & Muhammad, F. I. (2016). Analisis Percepatan Tanah Maksimum, Kecepatan Tanah Maksimum dan MMI Di Wilayah Sulawesi Utara. *Vol 5 (2016): Prosiding Seminar Nasional Fisika*.
- Pavel, F. (2018). Simplified Seismic Collapse Evaluation of Code-Conforming Reinforced Concrete Structures in Bucharest, Romania. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering https://doi.org/10.1007/s40996-018-0225-x*, 1-6.
- Weningtyas, E. R. (2017). Studi Numerik Sambungan Balok Kolom Beton Bertulang Pracetak Eksterior dengan Variasi Penampang Balok Menggunakan Beban Statik. *Department of Civil Engineering*, 1-11.

