

ANALISIS EFISIENSI GEOMETRI KOLOM BANGUNAN LANGSING DENGAN KONSEP KEKUATAN DAN KAPASITAS STRUKTUR

ANALYSIS OF COLUMN GEOMETRY EFFICIENCY ON SLENDER BUILDING WITH STRENGTH AND STRUCTURE CAPACITY CONCEPT

¹Asri Winita, ²Relly Andayani

^{1,2}Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Gunadarma

¹winitaasri@gmail.com, ²rellyand@gunadarma.ac.id

Abstrak

Struktur gedung dengan layout persegi panjang/ bangunan langsing sering menimbulkan ruang-ruang yang padat sehingga berpengaruh terhadap tata letak dan dimensi struktur, salah satunya adalah struktur kolom. Dimensi kolom harus mampu menjamin keamanan bangunan, namun tidak boleh memakan fungsi ruang. Penelitian ini menganalisis perilaku struktur pada bangunan langsing menggunakan standar berbasis kekuatan (SNI 1726-2012) dan berbasis kinerja (analisis pushover FEMA 356). Bangunan yang diteliti merupakan bangunan dengan rasio lebar : panjang sebesar 1 : 5,5 dengan 6 lantai setinggi 20 meter. Bangunan direncanakan dengan 7 dimensi kolom yang berbeda untuk diuji berdasarkan standar berbasis kekuatan dengan 3 parameter yaitu partisipasi massa rasio kedua arah orthogonal bangunan, simpangan antar lantai dan persentase kebutuhan kolom. Dari ketujuh dimensi kolom, dipilih satu dimensi optimal yang kemudian dioptimasi sebesar 3% untuk diuji dengan analisa Pushover terhadap beban gempa DBE dan MCE. Dari penelitian ini didapat bahwa dimensi kolom yang paling optimal berdasarkan analisa berbasis kekuatan adalah kolom dengan dimensi 40 X 60. Bangunan yang sudah dioptimasi memenuhi persyaratan level performa berdasarkan FEMA 356, yaitu sebesar 1,8% arah X (IO-LS), 1,6% arah Y (IO-LS) pada kondisi gempa desain (DBE) dan 4,5% arah X (CP), 3,6% arah Y (LS-CP) pada kondisi gempa kuat (MCE).

Kata kunci: berbasis kekuatan, berbasis kinerja, bangunan langsing, partisipasi massa, persentase tulangan, simpangan lantai

Abstract

Building structure with rectangle layout/slim building generally create compact rooms that is affecting structure layout and dimensions, and one of them is column structure. Column dimension should be able to guarantee the building safety, but not consuming space functions. This research is analyzing the structure behavior on slim building using based on strength standard (SNI 1726-2012) and performance (nonlinear static pushover analysis FEMA 356). The building that used in this research has 1 : 5.5 ratio (width : length ratio) with 6 stories and 20 meters tall. The building is designed with 7 different column dimensions to test based on strength standard using 3 parameters which are, two-way orthogonal participation mass ratio building, inter-story drifts, and percentage of column requirement. From those 7 column dimensions, the most optimal dimension will be chosen and will be optimized up to 3% to test and analyzed with pushover analysis for DBE and MCE seismic design. The result from this research is the most optimal column based on strength standard is the column with dimensions: 40 X 60. The optimized building should fill the requirements of performance level by FEMA 356, which are 1.8% X direction (IO-LS), 1.6% Y direction (IO-LS) for design basis earthquake (DBE) and 4.5% X direction (CP), 3.6% Y direction (LS-CP) for maximum considered earthquake (MCE).

Keywords: *strength based analysis, performance based analysis, slender building, participation mass ratio; column percentage, inter-story drift*

PENDAHULUAN

Suatu struktur gedung memiliki pola geometri atau *layout* yang mencerminkan nilai arsitektur dari konsep denah bangunan. Bangunan dengan ukuran rasio denah yang langsing/persegi panjang biasanya menimbulkan ruang-ruang yang padat sehingga berpengaruh terhadap tata letak dan dimensi struktur. Sering kali dimensi kolom dianggap tidak efektif karena terlalu memakan ruang sehingga mengganggu fungsi arsitektur, sedangkan dari segi kekuatan struktur dimensi kolom harus menjamin keamanan bangunan, sehingga perlu dikaji penentuan ukuran geometri kolom yang paling optimum dari segi kekuatan maupun kebutuhan luas ruang dengan analisa berbasis kekuatan dan berbasis kinerja. Di Indonesia, analisa gempa pada struktur bangunan menggunakan SNI 1726, yang mana menggunakan konsep kekuatan bangunan. Banyak penelitian menunjukkan bahwa penggunaan konsep kinerja atau *performance based design* (PBD) seperti analisa *static pushover* mampu mereduksi dimensi struktur. Penggunaan konsep PBD pada struktur langsing setinggi 60,2 meter mampu mereduksi sebesar 30% dengan persentase penulangan longitudinal mengalami penurunan menjadi 1% untuk semua tipe kolom (Shef dkk, 2016). Evaluasi kinerja struktur baja tahan gempa dengan analisis *pushover* pernah dilakukan pada bangunan 6 lantai setinggi 21,5 m. Pada penelitian ini ditunjukkan bahwa besarnya perpindahan maksimum struktur saat gempa

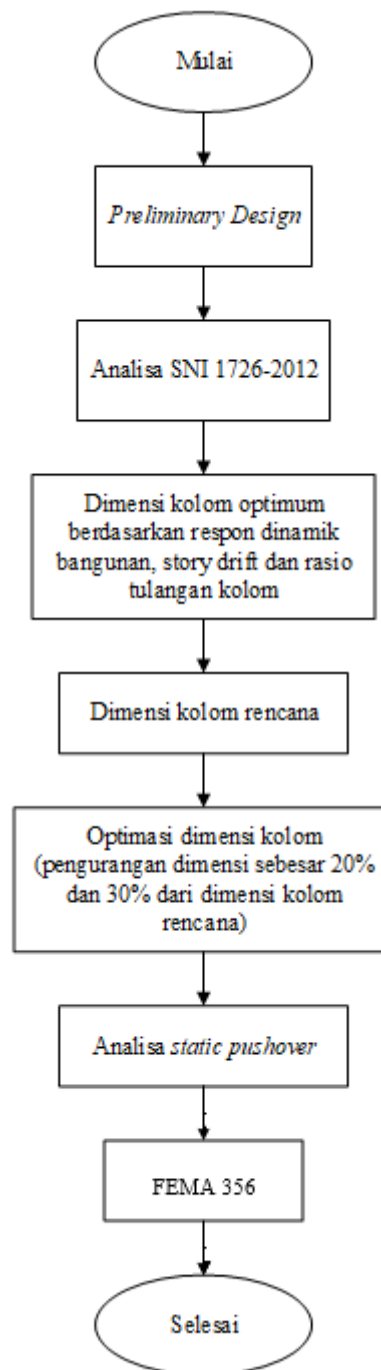
rencana atau titik kinerja titik kinerja untuk evaluasi harus ditentukan dengan berbagai metode.

Metode yang paling menentukan adalah metode koefisien perpindahan FEMA-356, sedangkan metode *spectrum* kapasitas yang mengacu ATC-40 memberikan nilai paling kecil (Wiryanto, 2005 dan Yosafat dkk, 2006). Berangkat dari penelitian tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan pemilihan dimensi kolom yang paling optimal dari tujuh kolom rencana pada sebuah bangunan langsing, di mana tujuh kolom tersebut memiliki luas yang saling mendekati namun dengan rasio panjang dan lebar yang berbeda.

Pemilihan dimensi kolom didasarkan pada analisa berbasis kekuatan (SNI 1726-2012), dengan meninjau partisipasi massa rasio kedua arah orthogonal bangunan, simpangan antar lantai dan persentase kebutuhan tulangan kolom. Setelah itu dimensi kolom optimum akan dioptimasi sebesar 3% dari luasan awal untuk dianalisa dengan analisa *pushover* FEMA 356. Diharapkan pengecilan kolom tersebut masih mampu menahan beban gempa yang diberikan pada struktur.

METODOLOGI PENELITIAN

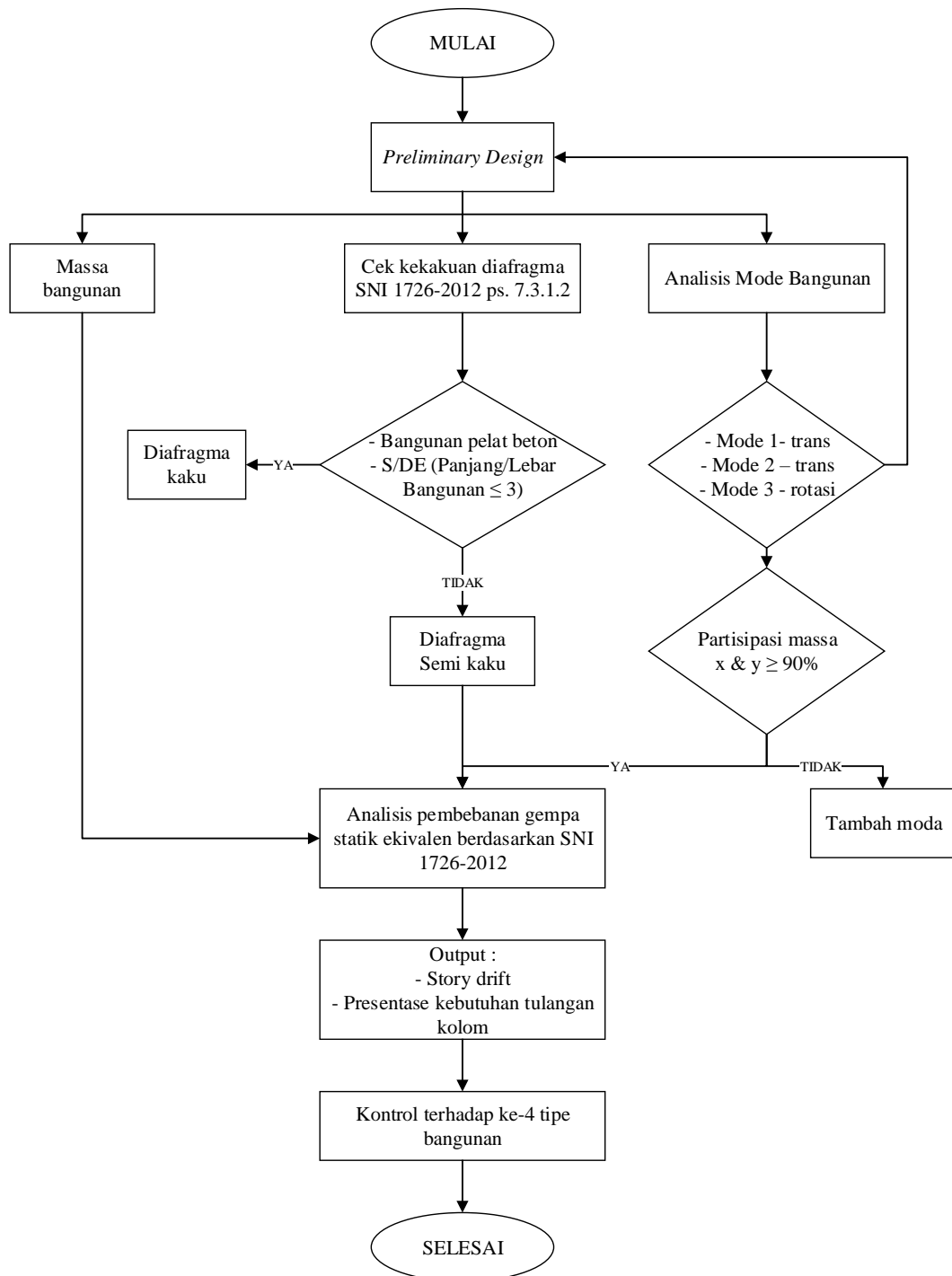
Penelitian dilakukan pada bangunan bentang panjang 6 lantai di Jakarta. Lebar bangunan 12 m, panjang 66 m. Bangunan difungsikan sebagai kantor. Berikut merupakan alur penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan melakukan *preliminary design* atau desain awal pada dimensi struktur. Ada 7 dimensi kolom berbeda yang digunakan. Kemudian dilakukan analisa terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012 terhadap masing-masing

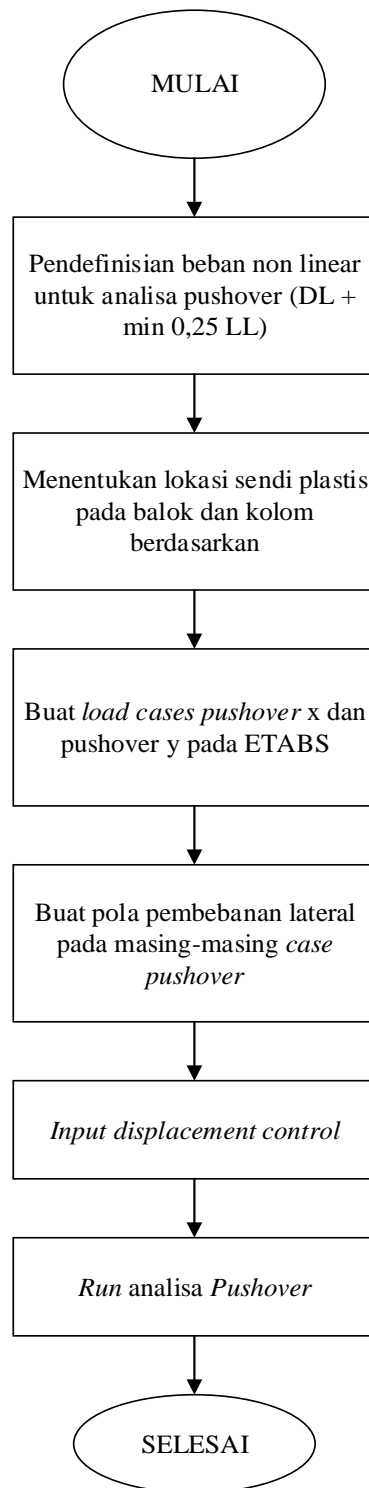
model. Dari analisa tersebut, didapatkan dimensi kolom optimum yang kemudian diuji dengan analisa *static pushover* untuk mengetahui level performa struktur berdasarkan FEMA 356.



Gambar 2. Metode Analisis Berbasis Kekuatan SNI 1726-2012

Model struktur terlebih dahulu diuji dengan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012, mengecek kekakuan diafragma dan menganalisa partisipasi massa bangunan pada kedua arah ortogonal (x dan y). Kemudian

ketujuh model struktur dibandingkan hasilnya terhadap *story drift* dan persentase kebutuhan tulangan. Diambil 1 model dengan dimensi kolom yang paling optimal untuk selanjutnya dianalisa dengan *static pushover*.



Gambar 3. Metode Analisis Berbasis Kinerja *Static Pushover*

Model struktur dengan dimensi optimal dari Analisa SNI 1726-2012 diuji kembali dengan metode analisis *static pushover* dengan bantuan program ETABS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

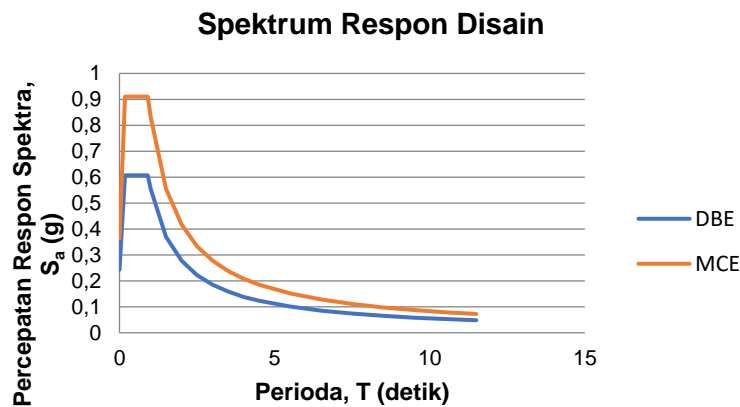
Pada penelitian ini bangunan terlebih dahulu didesain dengan metode berbasis kekuatan SNI 1726-2012. Analisis bangunan dengan metode ini dilakukan untuk

menentukan dimensi kolom yang paling optimal berdasarkan respons bangunan, simpangan antar lantai dan persentase tulangan kolom. Berikut tercantum dalam tabel dimensi kolom rencana yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah ditentukan dimensi

kolom rencana, dilakukan pembebanan gempa terhadap 7 tipe bangunan. Spektrum respons desain bangunan sesuai dengan wilayah dan kondisi tanah berdasarkan beban gempa desain (DBE) dan gempa maksimum (MCE) ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 1. Dimensi Kolom Bangunan

Type Bangunan	Dimensi Kolom (cm)	A (cm ²)	Rasio
B1	50 X 50	2500	1 : 1
B2	45 X 55	2250	1 : 1.25
B3	40 X 60	2400	1 : 1.5
B4	40 X 70	2800	1 : 1.75
B5	35 X 70	2450	1 : 2
B6	35 X 80	2800	1 : 2.25
B7	35 X 85	2975	1 : 2.5



Gambar 4. Spektrum Respon Desain

Sumber: Puskim PUPR, 2017

Tabel 2. Gaya Geser Dasar Seismik Bangunan

Model	V (Ton)	
	X	Y
K 50X50	269,964	269,964
K 45X55	285,125	285,125
K 40X60	284,312	284,312
K 40X70	288,494	288,494
K 35X70	282,364	284,727
K 35X80	286,720	288,336
K 35X85	288,922	290,140

Tabel 3. Partisipasi Massa Bangunan

Tipe Kolom	Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
K 50X50	Modal	1	1.302	0.0019	0.8555	0.0421
	Modal	2	0.994	0.5479	0.0262	0.3298
K 45X55	Modal	1	1.194	0.8347	0.0421	0.0342
	Modal	2	1.178	0.0575	0.8116	0.0264
K 40X60	Modal	1	1.321	0.9134	0.0002	0.0049
	Modal	2	1.021	0.0009	0.8422	0.0475
K 40X70	Modal	1	1.231	0.9119	0.0001	0.0029
	Modal	2	1.065	0.0004	0.8278	0.0489
K 35X70	Modal	1	1.366	0.9225	1.2E-05	0.0013
	Modal	2	1.085	0.0002	0.8257	0.0551
K 35X80	Modal	1	1.222	0.92	7.63E-06	0.001
	Modal	2	1.145	0.0001	0.8133	0.0553
K 35X85	Modal	1	1.275	0.9187	6.31E-06	0.0009
	Modal	2	1.148	0.0001	0.8075	0.0553

Beban gempa bangunan ditentukan oleh besaran koefisien respons seismik beserta massa bangunan. Berikut nilai gaya geser dasar pada masing-masing tipe bangunan.

Hasil analisa berdasarkan SNI 1725-2012 menunjukkan bahwa karakteristik ketujuh bangunan serta responsnya terhadap beban gempa berbeda-beda. Pada penelitian ini, dipilih satu tipe kolom yang memiliki karakteristik serta memberikan hasil paling baik dalam menahan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012. Parameter yang menjadi penentu tipe kolom yang paling optimal adalah partisipasi massa bangunan, simpangan antar lantai dan persentase tulangan kolom.

Partisipasi Massa Bangunan

Pada perencanaan struktur bangunan, salah satu hal utama yang harus dicapai adalah mode pertama dan kedua bangunan yang translasi terhadap kedua arah orthogonal (x dan y). Partisipasi massa pada mode pertama bangunan diharapkan mencapai 90%, hal ini dikarenakan analisis statik bangunan diturunkan dari respon mode pertama bangunan, oleh karena itu setiap analisis bangunan harus menyertakan minimal 90% partisipasi massa ragam. Pada penelitian ini,

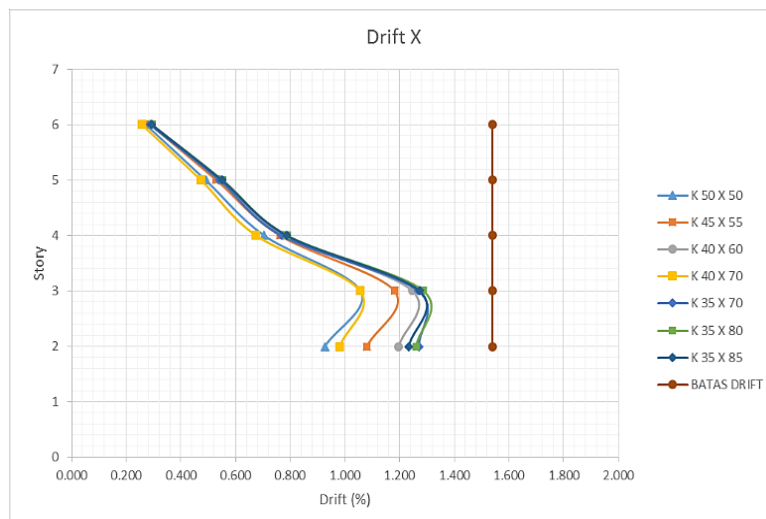
seluruh bangunan memberikan respons translasi pada mode pertama dan mode kedua, akan tetapi pada model bangunan dengan tipe kolom 50 X 50, nilai partisipasi masa mode pertama hanya 85% dan mode kedua hanya 54%. Di antara ketujuh model bangunan, model dengan tipe kolom K 40 X 60 memberikan nilai partisipasi massa yang cukup baik. Mode pertama memberikan nilai partisipasi ragam sebesar 91% dan di mode kedua memberikan nilai partisipasi massa terbesar mencapai 84%. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa mode pertama harus menyertakan minimal 90% partisipasi massa, maka tipe kolom 40 X 60 cukup mewakili respons bangunan.

Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

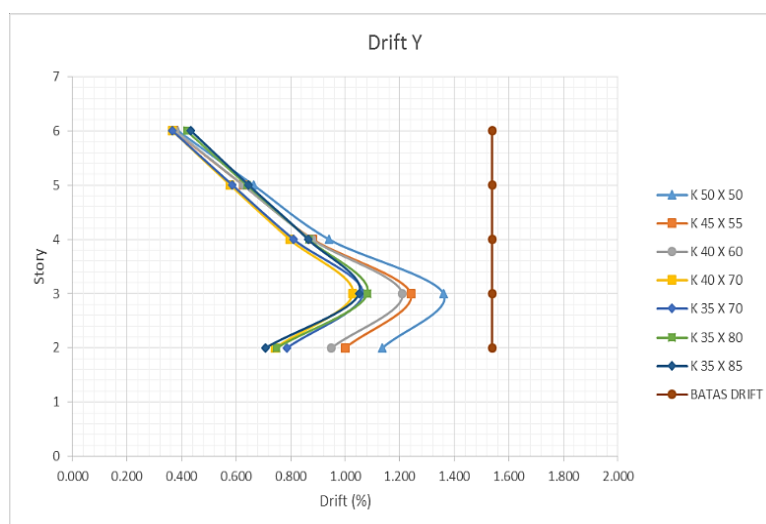
Berdasarkan SNI 1726-2012, nilai simpangan izin antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a). Pada bangunan ini, sesuai sistem struktur dan kategori resiko bangunan, nilai batas drift ditentukan sebesar:

$$\text{Drift limit} = 2/\rho (\%) = 2 / 1,3 = 1,54 \%$$

Hasil simpangan antar lantai ketujuh bangunan ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 5. Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 6. Simpangan Antar Lantai Arah Y

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dan 6, terlihat bahwa seluruh model memenuhi persyaratan, di mana drift arah X dan Y masing-masing lantai tidak melebihi batas drift yang diizinkan. Bangunan yang baik adalah bangunan yang tidak boros dalam perencanaan, di mana nilai drift biasanya tidak terlalu jauh dari batas yang diizinkan. Pada grafik di atas, tampak bahwa model K 35X 80 memiliki drift arah X yang terdekat dengan batas izin, akan tetapi pada arah Y sangat jauh dari batas izin. Sehingga, kolom yang paling baik berdasarkan simpangan antar lantai merupakan model dengan kolom yang drift arah X dan Y tidak terlalu dekat namun juga

tidak terlalu jauh dari batas. Berdasarkan hal tersebut, maka dimensi kolom yang paling ideal adalah model bangunan K 40 X 60.

Presentase Tulangan Kolom

Pada suatu perencanaan bangunan, tulangan kolom biasanya diambil dari hasil output etabs, yang kemudian dicek pada program seperti PcaColumn atau SpCol. Program tersebut menghasilkan kurva interaksi antara beban P (aksial) dengan Momen yang bekerja pada kolom.

Idealnya, besaran presentase tulangan kolom adalah sebesar 1-6% dari luasan kolom. Namun, pada prakteknya, perencanaan

mengambil presentase sebesar 1-3% dari luasan agar tulangan tidak terlalu padat sehingga pelaksanaan konstruksi lebih mudah dilakukan. Presentase tulangan kolom pada penelitian ini didapatkan sebagai berikut. Seluruh tipe kolom masih memenuhi persyaratan batas presentase tulangan kolom, namun untuk kemudahan pengerjaan, kolom K 50X50 dan K 35X70 tidak direkomendasikan untuk digunakan. Ditinjau berdasarkan persentase tulangan kolom, dimensi yang membutuhkan luas tulangan terkecil adalah tipe kolom K 35X85 dengan persentase tulangan kolom sebesar 1,86%. Berdasarkan ketiga analisis dengan metode berbasis kekuatan SNI 1726-2012, didapat beberapa tipe model kolom yang memberikan hasil terbaik dari setiap parameter. Model K 40 X 60 memberikan hasil yang paling baik dari segi

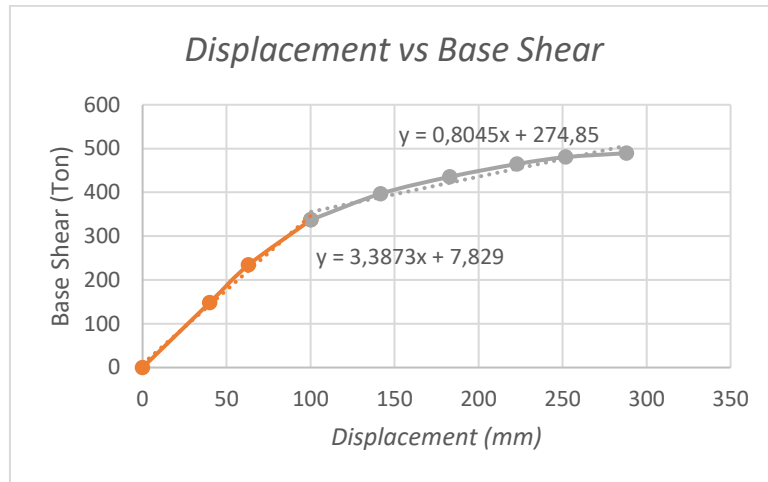
partisipasi ragam massa bangunan dan simpangan antar lantai. Sedangkan tipe K 35 X 85 memiliki nilai efektif dari sisi persentase tulangan kolom. Pada dasarnya, hampir semua tipe kolom dapat digunakan pada gedung ini, hanya saja dari segi arsitektural, kolom yang baik adalah kolom yang tidak terlalu panjang dan tidak juga terlalu lebar, Apabila terlalu panjang atau lebar tentu akan memakan luasan ruang, bahkan dapat menutup lubang shaft yang berfungsi untuk bagian mekanikal dan elektrik. Maka pada penelitian ini, dinilai kolom K 40 X 60 merupakan dimensi terefektif berdasarkan analisa SNI 1726-2012. Bangunan dengan kolom K 40 X 60 kemudian dioptimasi, dengan penurunan luasan kolom dan balok sebesar 30%. Gaya geser gempa berdasarkan gempa DBE (gempa desain) dan MCE (gempa besar) terlampir pada Tabel 5.

Tabel 4. Presentase Tulangan Kolom

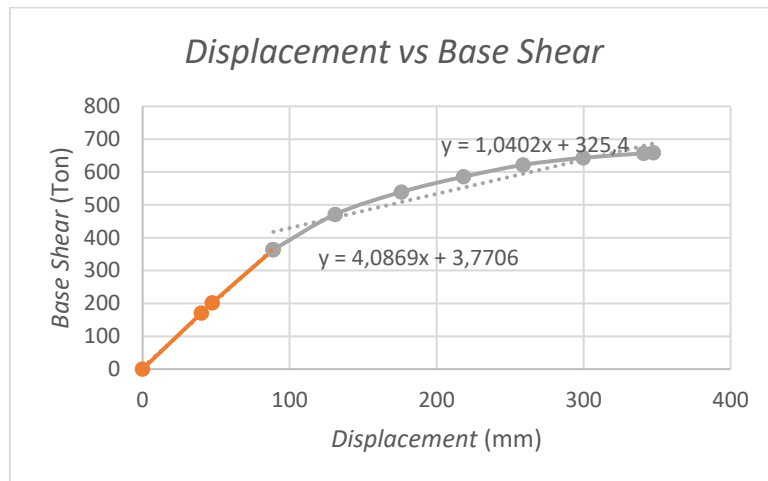
Tipe Kolom	% Tulangan
K 50X50	3,10%
K 45X55	2,79%
K 40X60	2,78%
K 40X70	2,85%
K 35X70	3,16%
K 35X80	2,26%
K 35X85	1,86%

Tabel 5. Gaya Geser Dasar Gempa

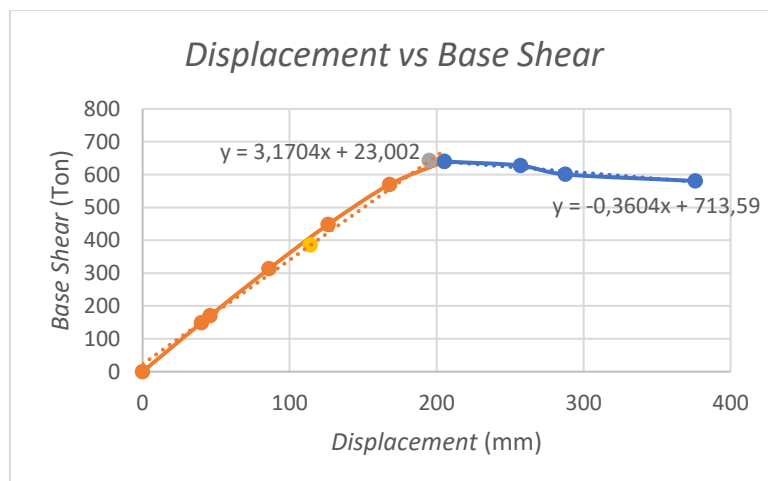
	V _x (Ton)	V _y (Ton)
V _{DBE}	129,849	139,645
V _{MCE}	197,595	209,512



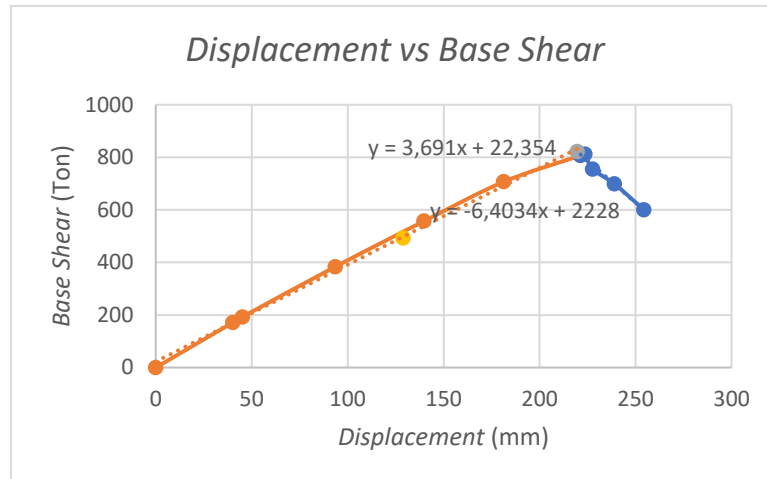
Gambar 7. Grafik *Displacement vs Base Shear* (Gempa DBE arah X)



Gambar 8. Grafik *Displacement vs Base Shear* (Gempa DBE arah Y)



Gambar 9. Grafik *Displacement vs Base Shear* (Gempa MCE arah X)



Gambar 10. Grafik *Displacement vs Base Shear* (Gempa MCE arah Y)

Tabel 6. Simpangan dan Level Kinerja Bangunan

Gempa	Simpangan	Level Kinerja
DBE-X	0,018	IO-LS
DBE-Y	0,016	IO-LS
MCE-X	0,045	CP
MCE-Y	0,036	CP

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan nilai *displacement* dan *base shear*, didapatkan nilai simpangan dan kinerja bangunan yang terlampir pada Tabel 6.

SIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada bangunan bentang panjang dengan rasio 1 : 5,5 didapatkan dimensi kolom yang dapat digunakan sebagai kolom desain. Ditinjau dari segi partisipasi massa bangunan, didapat kolom 40 x 60 memberikan partisipasi massa ragam terbaik, di mana mode pertama bangunan menyertakan lebih dari 90% partisipasi massa ragam. Ditinjau dari simpangan antar lantai, kolom 40 x 60 memberikan simpangan yang paling ideal baik arah x maupun arah y. Untuk persentase tulangan kolom, kolom 35 x 85 membutuhkan luas tulangan yang paling kecil yaitu sebesar 35 x 85. Dimensi struktur pada kolom 40x60 dioptimasi sebesar 30%, kemudian dianalisa dengan pushover. Hasil dari analisa tersebut menunjukkan bahwa bangunan yang telah dioptimasi memiliki performa yang baik dan

masih dalam batas persyaratan sesuai FEMA 356. Performa bangunan pada kondisi gempa desain (DBE) arah X dan Y adalah *life safety* (LS) dengan *drift* sebesar 1,8% dan 1,6%. Sedangkan performa pada kondisi gempa besar (MCE) arah X dan Y adalah *Collapse Prevention* (CP) dan *life safety – collapse prevention* (LS-CP) dengan *drift* sebesar 4,5% dan 3,6%.

Penelitian ini masih memerlukan penelitian lanjutan dengan reduksi dimensi yang lebih besar. Selanjutnya dapat dilakukan pengujian pada bangunan bertingkat tinggi dengan rasio bangunan yang lebih besar dari 2,5 sehingga perencanaan beban gempa dengan SNI Gempa dapat lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

Arasy, Shef Amir, dkk. (2016). The Effectiveness of Performance Based Design to Establish Architectural Feature of Structural Design for Slender Building. *Journal of Engineering Technology (JET)* Vol. 4 No.1.

- Budiono, Bambang. (2009). Performance Based Design. Short Course on Performance Based Design. Jakarta.
- Budiono, Bambang. (2016). Step by Step Pushover Analysis. PT. Wiratman, Jakarta.
- Computers & Structur, Inc. (2006). Perform3D, User Guide .4, Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D structures. Berkeley: CSI America.
- Dewobroto, Wiryanto. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Civil Engineering National Conference, Semarang.
- FEMA-356 (2000). Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA-440 (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Lumantara, Benjamin. (2004). Keandalan Analisa Pushover untuk Meramal Prilaku Seismik Nonlinier Struktur Portal Terbuka dengan Reentrant Corner. *Civil Engineering Dimension* Vol 6, Puslit Petra.
- Muntafi, Yunalia. (2012). Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisa Pushover. Simposium Nasional RAPI XI FT UMS, Yogyakarta.
- Pranata, Yosafat Aji. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440). Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 03-1726-2012), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional, 2002.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 1726-2012). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, Badan Standarisasi Nasional, 2002.