

## PERBANDINGAN KINERJA SEISMIK GEDUNG BER-SISTEM *FRAME* DAN *FRAMED TUBE* DENGAN KONFIGURASI KOLOM MENGGUNAKAN ANALISIS *PUSHOVER*

Baiq Shafa Salsabil<sup>1</sup>, Armin Naibaho<sup>2</sup>, Nawir Rasidi<sup>3</sup>

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>,  
Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>  
Email: [salsa.baiq@gmail.com](mailto:salsa.baiq@gmail.com)<sup>1</sup>, [armin.naibaho@polinema.ac.id](mailto:armin.naibaho@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [nawir.rasidi@polinema.ac.id](mailto:nawir.rasidi@polinema.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Perkembangan penduduk Kota Surabaya menyebabkan gentingnya pembangunan ke arah vertikal, namun hal ini menjadi suatu tantangan karena Indonesia merupakan daerah rawan gempa. Ukuran kolom serta sistem struktur yang digunakan akan berpengaruh terhadap kinerja struktur dalam merespon beban gempa. Skripsi ini bertujuan menentukan ukuran kolom serta konfigurasi terbaik untuk gedung dengan sistem rangka dan sistem rangka tabung. Sebagai variabel penelitian, maka digunakan empat model gedung yang divariasikan ukuran kolom dan konfigurasi strukturnya. Metode analisis yang digunakan untuk mendapatkan kapasitas deformasi adalah *pushover analysis*. Kemudian, untuk mendapatkan titik kinerja dari masing-masing model gedung maka dievaluasi menggunakan metode spektrum kapasitas ATC-40. Dalam proses analisis digunakan program bantu SAP2000 v21.2.0. *Drift ratio* hasil *pushover analysis* dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 pada masing-masing model gedung menunjukkan bahwa semua model gedung masih berada di bawah *drift limit* 2%. Dengan model gedung keempat (*framed tube system*) sebagai model dengan *drift ratio* terkecil yaitu sebesar 0,81%. Lalu evaluasi kinerjanya menunjukkan kinerja gedung model kedua (*frame system*) berada dalam kategori *Damage Control* (DC), sedangkan tiga model lainnya masih berada dalam kategori *Immediate Occupance* (IO). Ditinjau dari anggaran biayanya, gedung model kedua merupakan gedung dengan biaya terendah, dengan selisih 20,98% jika dibandingkan dengan gedung model keempat yang merupakan gedung dengan biaya tertinggi. Jika mempertimbangkan kedua faktor, yaitu evaluasi kinerja dan anggaran biaya, dapat disimpulkan gedung model ketiga (*framed tube system*) adalah konfigurasi terbaik.

**Kata kunci** : ukuran kolom; sistem rangka; sistem rangka tabung; *pushover analysis*

### ABSTRACT

*The development of the population in Surabaya City causes the urgency of development in vertical direction, but this becomes a challenge because Indonesia is an earthquake-prone area. The columns size and its configuration strongly affect the performance of the seismic structural response. This thesis is aims to determine the column's size and proper configuration for a building with frame system dan framed tube system. Four-building types were modeled using various column sizes and configurations. The pushover analysis was used to obtain deformation capacity. Hence, the capacity spectrum method ATC-40 were implemented in order to get the performance points of each building model. In the analysis process, SAP2000 v21.2.0 were used. The drift ratio from pushover analysis using ATC-40 capacity method for each building model shows that all building models are still below the 2% drift limit. With the fourth building model (framed tube system) as the model with the smallest drift ratio of 0.81%. Then the performance evaluation shows that the second model building (frame system) is in the Damage Control (DC) category, while the rest are still in the Immediate Occupancy (IO) category. Reviewed from the budget plan, the second model building is the building with the lowest cost, with a difference of 20.98% when compared to the fourth model building which is the building with the highest cost. If considering both factors, that is performance evaluation and budget plan, it can be concluded that the third model building (framed tube system) is the best configuration.*

**Keywords** : column size; frame system; framed tube system; *pushover analysis*

## 1. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya urbanisasi, maka kebutuhan ruang kota akan semakin meningkat, dan sebaliknya luas lahan akan semakin terbatas. Salah satu ciri urbanisasi adalah perubahan penggunaan lahan seperti peningkatan rumah [1]. Dengan demikian, salah satu solusi untuk permasalahan ini adalah dengan mulai membiasakan pembangunan ke arah vertikal atau gedung bertingkat tinggi. Namun, menjadi tempat pertemuan tiga lempeng tektonik terbesar di dunia yaitu lempeng Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik menyebabkan wilayah Indonesia rawan gempa [2]. Hal ini menjadi salah satu tantangan dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi.

Sistem rangka beton bertulang (*reinforced frame system*) banyak digunakan di daerah dengan tingkat seismik yang tinggi sebagai sistem penahan gaya gempa [3]. Di antara berbagai sistem penahan, struktur tubular yang dilengkapi dengan rangka ruang penahan momen telah menjadi perhatian [4]. *Framed tube* adalah salah satu sistem yang paling banyak digunakan pada sistem tubular. Dibandingkan dengan sistem tubular yang lain, tabung eksterior *framed tube* jauh lebih kaku [5].

Sebagai salah satu elemen struktur, kolom merupakan elemen yang kompleks karena kemampuannya dalam mengatasi gaya aksial, gaya geser, dan momen terutama pada kondisi seismik [6]. Kegagalan satu atau lebih kolom dapat menyebabkan runtuhnya struktur.

Berdasarkan pemaparan diatas, pentingnya mengantisipasi keruntuhan total bangunan di daerah rawan gempa dengan mengetahui perilaku struktur saat masih dalam kondisi elastis sampai dengan nonelastis dengan mencari tahu konfigurasi kolom yang tepat untuk struktur *frame* dan *framed tube*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis memilih judul “Perbandingan Kinerja Seismik Gedung Ber-Sistem *Framed* dan *Framed Tube* dengan Konfigurasi Kolom Menggunakan Analisis *Pushover*”.

## 2. METODE

Penelitian ini berfokus pada konfigurasi kolom dengan empat alternatif, antara lain dua model gedung dengan struktur *frame system* dan dua model gedung dengan struktur *framed tube system*. Data yang digunakan dalam skripsi ini merupakan sebuah pemisalan yang menjadi bagian dari model analisis. Langkah selanjutnya adalah *preliminary design* untuk keempat model gedung dengan massa masing-masing sistem struktur menjadi variabel tetap. Kemudian dilanjutkan dengan analisis pembebanan, baik beban gravitasi maupun beban gempa.

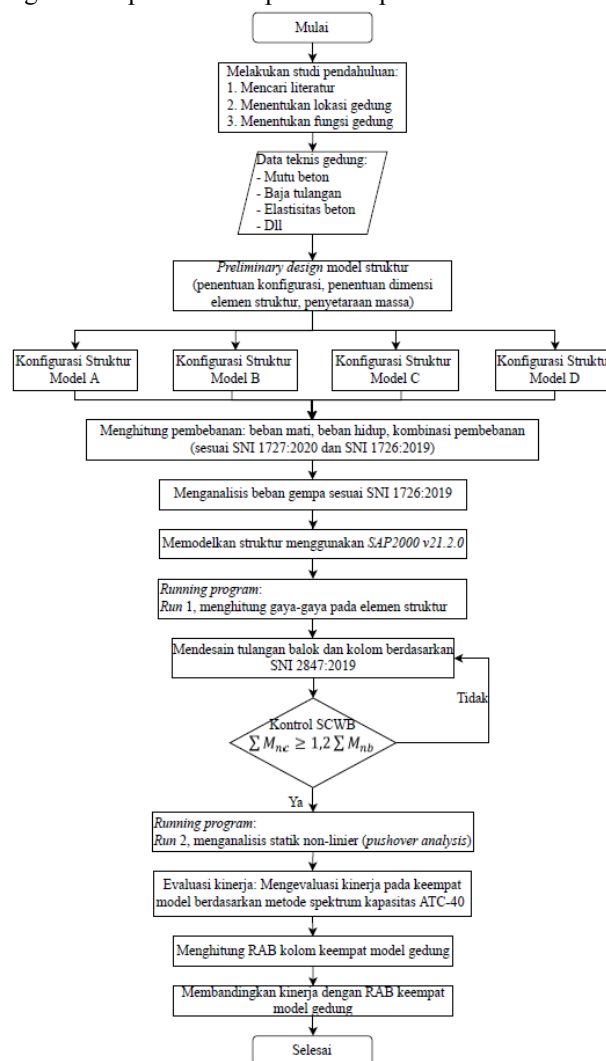
Dari analisis yang telah dilakukan sebelumnya, bisa dibuat pemodelan dengan program bantu SAP2000 v21.2.0 untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang dihasilkan. Hasil

analisis tersebut akan digunakan untuk mendesain tulangan balok dan kolom pada masing-masing model gedung.

Selanjutnya kebutuhan tulangan balok dan kolom akan diinput dalam SAP2000 v21.2.0 untuk *running pushover analysis* yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan deformasi struktur akibat pengaruh ukuran kolom. *Output* dari *pushover analysis* berupa kurva kapasitas yang akan dievaluasi kinerjanya dengan metode spektrum kapasitas ATC-40.

Untuk perbandingan, selain evaluasi kinerja, keempat model gedung juga dihitung rencana anggaran biayanya berdasarkan volume beton, berat pembesian, serta luas bekisting elemen struktur kolom dan balok.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

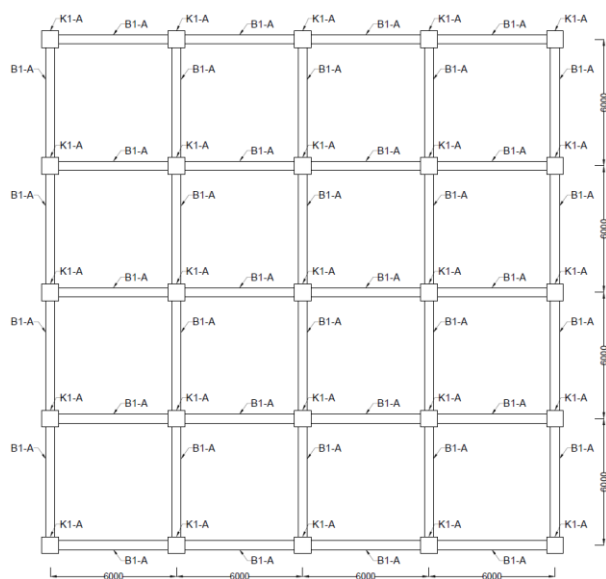
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN PRELIMINARY DESIGN

Pada tahap ini, struktur akan digambarkan menjadi empat model gedung yaitu model gedung A, gedung B, gedung C, dan model D. Model gedung A dan B merupakan struktur

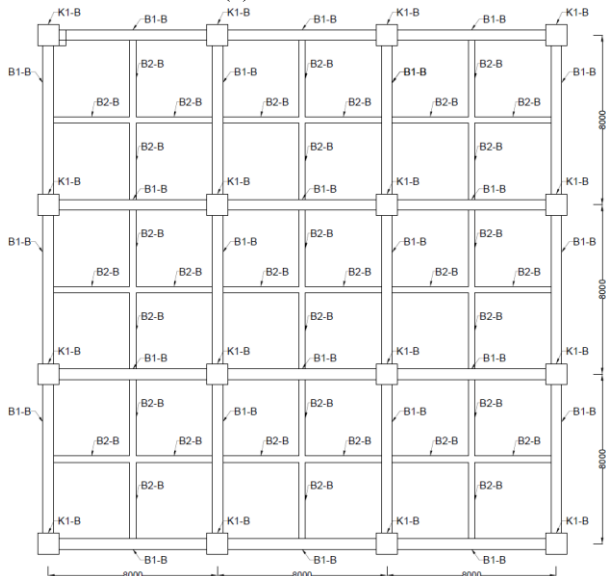
framed system, sedangkan model gedung C dan D merupakan struktur framed tube system. Keempat model gedung tersebut memiliki konfigurasi dan ukuran elemen struktur yang berbeda tetapi dengan spesifikasi teknis gedung sama. Masing-masing model struktur yaitu frame system dan framed tube system juga harus memiliki massa yang sama sehingga energi gempa yang terjadi akibat massa bangunan adalah sama.

**Pentuan Konfigurasi Struktur pada Masing-Masing Model Gedung**

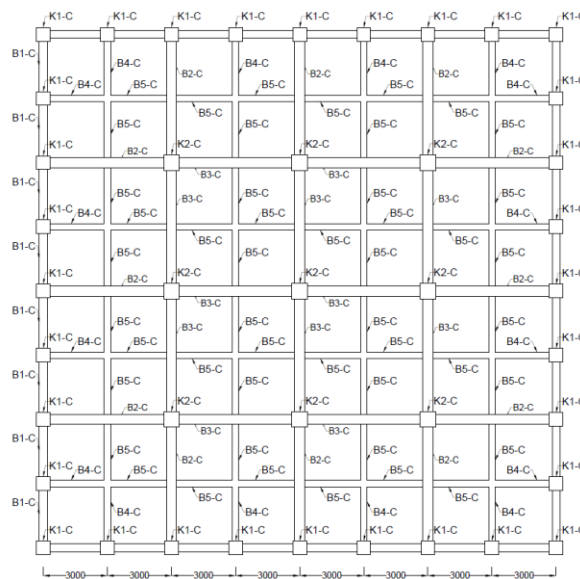
Konfigurasi struktur berupa variasi panjang bentang dan perletakan kolom pada masing-masing model gedung. Bentuk konfigurasi struktur dari lantai 1 s/d 25 sama. Konfigurasi struktur pada masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 2.



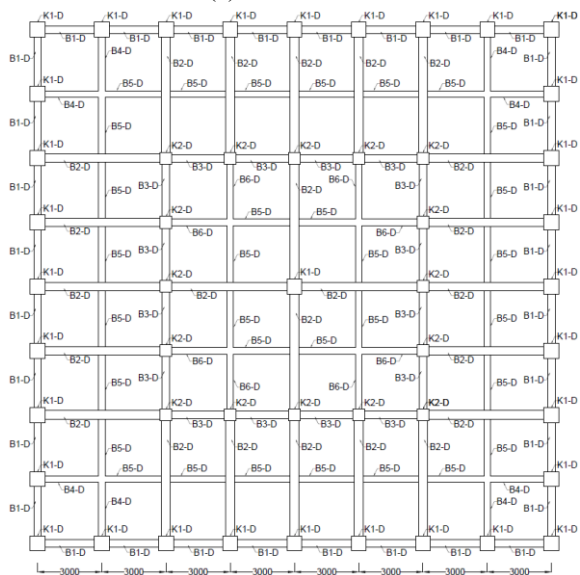
(a) Model A



(b) Model B



(c) Model C



(d) Model D

**Gambar 2. Konfigurasi Struktur Masing-Masing Model Gedung**  
**Penentuan Dimensi Elemen Struktur dan Penyetaraan Massa Bangunan pada Masing-Masing Model Gedung**

**Tabel 1. Preliminary Design Dimensi Kolom**

Model Gedung	Tipe kolom	b (m)	h (m)	Massa (kN)	Total massa (kN)
Model A	K1-A	0,80	0,80	1317,12	1317,12
Model B	K1-B	1,00	1,00	1317,12	1317,12
Model C	K1-C	0,64	0,64	1078,98	1473,80
	K2-C	0,73	0,73	394,81	
Model D	K1-D	0,70	0,70	1331,11	1729,54
	K2-D	0,55	0,55	398,43	

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 2.** Preliminary Design Dimensi Balok

Model Gedung	Tipe balok	b (m)	h (m)	Massa (kN)	Total massa (kN)
Model A	B1-A	0,43	0,70	1472,54	1860,32
	B2-A	0,25	0,37	387,78	
Model B	B1-B	0,50	0,75	1481,76	1862,78
	B2-B	0,30	0,40	381,02	
	B1-C	0,36	0,47	300,54	
Model C	B2-C	0,47	0,65	458,28	1912,04
	B3-C	0,47	0,65	454,40	
	B4-C	0,36	0,47	170,64	
	B5-C	0,36	0,47	528,17	
Model D	B1-D	0,35	0,50	302,94	1656,07
	B2-D	0,41	0,62	771,26	
	B3-D	0,35	0,50	161,35	
	B4-D	0,30	0,45	67,31	
	B5-D	0,30	0,45	283,99	
	B6-D	0,30	0,45	69,22	

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 3.** Penyetaraan Massa Kolom dan Balok

Model Gedung	Massa Kolom (kN)	Massa Balok (kN)	Total Massa (kN)
Model A	1317,12	1860,32	3177,44
Model B	1317,12	1862,78	3179,90
Model C	1473,80	1912,04	3385,84
Model D	1729,54	1656,07	3385,61

Sumber: Hasil Perhitungan

**PERHITUNGAN PEMBEBANAN**

**Beban Mati dan Beban Hidup**

Desain pembebanan struktur diambil dari SNI 1727:2020 beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain untuk beban mati dan beban hidup [7].

**Tabel 4.** Beban Mati

Lantai ke-	Berat (kN)			
	Model A	Model B	Model C	Model D
Lantai 25	4601,6	4604,0	4731,6	4603,5
Lantai 2-24	138189,3	138245,9	142982,4	142977,3
Lantai 1	6937,3	6939,7	7224,0	7351,7
Total	149728,1	149789,7	154938,1	154932,5

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 5.** Beban Hidup

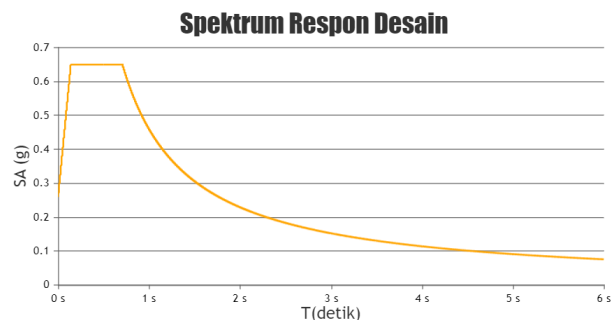
Lantai ke-	Berat (kN)			
	Model A	Model B	Model C	Model D
Lantai 25	553,0	553,0	553,0	553,0
Lantai 1-24	33177,6	33177,6	33177,6	33177,6
Total	33730,6	33730,6	33730,6	33730,6

Sumber: Hasil Perhitungan

**Beban Gempa**

Analisis spektrum respon desain diakses langsung melalui aplikasi desain spektra Indonesia Ciptakarya PU.

Dengan memasukkan lokasi daerah studi yaitu Bukit Darmo Golf Surabaya, didapatkan nilai  $S_s = 0,8255$  dan  $S_1 = 0,3539$ . Kategori risiko bangunan II untuk fungsi gedung perkantoran, serta faktor keutamaan gempa  $I_e = 1,0$ . Tanah diasumsikan dibangun pada kondisi tanah sedang (SD), sehingga masuk dalam KDS D. Berdasarkan data-data sebelumnya, sistem struktur yang dipakai adalah SRPMK dengan  $R = 8$ ,  $C_d = 3$  dan  $\Omega_0 = 5,5$ . Spektrum respons desain yang didapat terdapat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Grafik Respons Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2019, prosedur analisis yang diizinkan untuk gedung beton bertulangan dengan ketinggian 87,5 m adalah analisis dinamis spektrum respon ragam. Adapun hal yang harus dikontrol adalah partisipasi massa seperti yang dicontohkan pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Jumlah Respons Ragam dan Partisipasi Massa Model B

Mode	Sum UX	Sum UY
1	0,00085	0,77818
10	0,91462	0,93526
20	0,96301	0,96200
30	0,97217	0,97217
40	0,97691	0,97691
50	0,98073	0,98073
60	0,98073	0,98073
70	0,98073	0,98073
80	0,98073	0,98073

Sumber: SAP2000 v21.2.0

SNI 1726:2019 menyatakan bahwa, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model [8]. Dari **Tabel 6** dapat dilihat bahwa pada mode ke-80 syarat partisipasi sebesar minimal 90% telah terpenuhi.

Langkah yang sama dilakukan pada keempat model gedung, semua model memenuhi syarat partisipasi minimal 90% pada mode ke-80.

Setelah partisipasi masa sudah terpenuhi, selanjutnya adalah kontrol metode penjumlahan ragam yang dipilih pada SAP2000 untuk *output* pada **Tabel 6**. Rata-rata selisih untuk waktu getar alami yang berdekatan pada mode 1 sampai dengan mode 80 adalah 4%, sehingga metode penjumlahan ragam yang digunakan sudah tepat yaitu metode kombinasi

kuadrat lengkap (CQC) karena selisih <15%. Langkah yang sama juga dilakukan pada semua model gedung.

Sesudah *preliminary design* dan analisis pembebanan, langkah selanjutnya adalah *running program* dengan SAP2000 v21.2.0 untuk mendapatkan gaya-gaya dalam.

**DESAIN TULANGAN BALOK DAN KOLOM**

Gaya-gaya dalam hasil analisis dengan SAP2000 v21.2.0 digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan balok dan kolom keempat model gedung. Prosedur perhitungan tulangan mengacu pada SNI 2847:2019 [9].

**Tulangan Balok**

Rekapitulasi hasil perhitungan balok pada keempat model gedung dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Penulangan Balok

Model Gedung	Tipe balok	Tulangan Utama			
		Tul. Tumpuan		Tul. Lapangan	
		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan
Model A	B1-A	6S22	4S22	6S22	4S22
	B2-A	3S19	2S19	3S22	2S22
Model B	B1-B	7S22	5S22	7S22	5S22
	B2-B	3S19	2S19	3S19	2S19
	B1-C	7S19	5S19	3S19	2S19
Model C	B2-C	6S22	4S22	4S22	3S22
	B3-C	6S22	4S22	4S22	3S22
	B4-C	4S19	3S19	3S19	2S19
Model D	B5-C	4S19	3S19	3S19	2S19
	B1-D	7S19	5S19	3S19	2S19
	B2-D	5S19	4S19	4S19	3S19
Model D	B3-D	5S19	4S19	4S19	3S19
	B4-D	3S19	2S19	3S19	2S19
	B5-D	3S19	2S19	3S19	2S19
	B6-D	3S19	2S19	3S19	2S19

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan dari **Tabel 7**, didapatkan detail penulangan balok pada **Gambar 4**.

TIPE	B1-B	
	Tumpuan	Lapangan
Posisi		
Sketsa		
Tulangan Atas	7 S22	5 S22
Tulangan Bawah	5 S22	7 S22
Tulangan Sengkang	P12 – 100	P12 – 150

**Gambar 4.** Detail Penulangan Balok B1-B

**Tulangan Kolom**

Rekapitulasi hasil perhitungan kolom pada keempat model gedung dapat dilihat pada **Tabel 8**.

**Tabel 8.** Penulangan Kolom

Model Gedung	Tipe kolom	Tul. Utama	Tul. Sengkang	
			Tump.	Lap.
Model A	K1-A	28S29	P13-100	P13-150

Model B	K1-B	32S29	P13-70	P13-100
Model C	K1-C	24S25	P13-80	P13-150
	K2-C	24S29	P13-70	P13-100
Model D	K1-D	24S29	P13-70	P13-100
	K2-D	20S25	P13-80	P13-100

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan dari **Tabel 8**, didapatkan detail penulangan kolom pada **Gambar 5**.

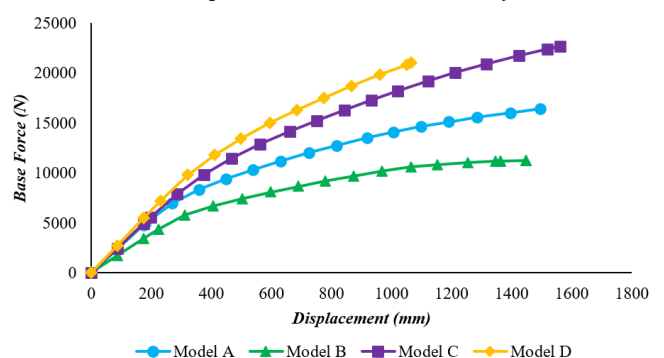
TIPE	K1-B		
Sketsa			
Dimensi Kolom	K100/100		
Tulangan	32 S29		
Sengkang	H1 = 100 cm	H2 = 150 cm	H3 = 100 cm
	Bawah	Tengah	Atas
	S13 - 70	S13 - 100	S13 - 70

**Gambar 5.** Detail Penulangan Kolom

**PUSHOVER ANALYSIS**

Setelah mendapatkan kebutuhan tulangan balok dan kolom pada masing-masing model gedung. Langkah selanjutnya adalah *input* kebutuhan tulangan pada program SAP2000 v21.2.0 lalu melakukan prosedur *static pushover analysis*. Hasil *static pushover analysis* berupa kurva kapasitas dapat dilihat pada **Gambar 6**.

**Kurva Kapasitas Hasil Static Pushover Analysis**

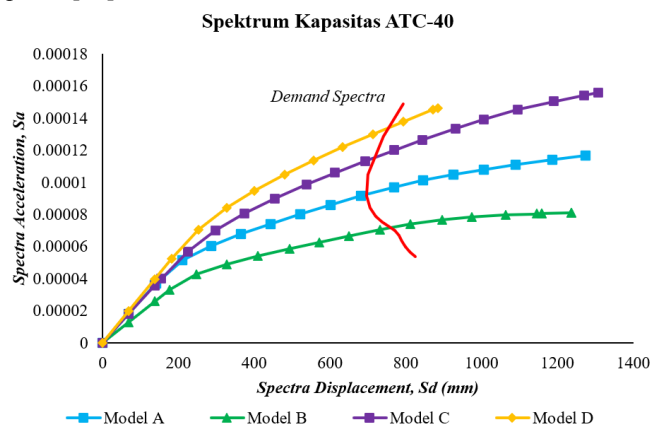


**Gambar 6.** Kurva Kapasitas Keempat Model Gedung

Dari **Gambar 6**, dapat diketahui bahwa kelelahan pertama struktur pada semua model gedung hampir pada tingkat *displacement* yang sama, sedangkan untuk *base force* terbesar terdapat pada model gedung C dan D yaitu model gedung dengan sistem *framed tube*.

**EVALUASI KINERJA**

Kurva kapasitas hasil *pushover analysis* akan dievaluasi kinerjanya dengan metode spektrum kapasitas ATC-40. Metode ini dilakukan dengan memplotkan *demand* respon spektrum dengan kurva kapasitas dalam satu format. Perpotongan antara spektrum *demand* dan spektrum kapasitas ini disebut sebagai titik kinerja atau *performance point* [10].



**Gambar 7.** Spektrum Kapasitas ATC-40

Dari grafik pada **Gambar 7**, dapat diketahui *performance point* pada masing-masing model gedung. Untuk keakurasian dalam pembacaan *performance point*, maka dilakukan pembacaan secara langsung pada SAP2000 v21.2.0 yaitu seperti terlihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 9.** Performance Point

Model Gedung	Performance Point	
	V (N)	D (mm)
Model A	12330966	765,433
Model B	9857285	906,536
Model C	15264958	753,217
Model D	16577179	707,753

Sumber: SAP2000 v21.2.0

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kinerja struktur, parameter yang diperlukan adalah *drift ratio* rata-rata tiap lantai dimana total tinggi bangunan untuk semua model gedung adalah 87,5 m. Level kinerja untuk masing-masing model gedung dapat dilihat pada **Tabel 10**.

**Tabel 10.** Level Kinerja Struktur

Model Gedung	Tinggi ged. (m)	Displacement (m)	Drift Ratio	Level Kinerja
Model A	87,5	0,765	0,0087	Immediate Occupancy
Model B	87,5	0,907	0,0104	Damage Control
Model C	87,5	0,753	0,0086	Immediate Occupancy
Model D	87,5	0,708	0,0081	Immediate Occupancy

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 10**, hasil evaluasi kinerja dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 untuk model A, model

C, dan model D masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO) dengan artian bahwa bangunan aman saat terjadi gempa, resiko dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat difungsikan kembali. Sedangkan model B masuk dalam kategori *Damage Control* (DC) yang merupakan transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS) dengan artian gedung masih mampu menahan gempa yang terjadi dengan resiko korban manusia sangat kecil.

*Drift ratio* dari masing-masing gedung menunjukkan bahwa gedung model D memiliki *drift ratio* terkecil, dengan begitu gedung dengan kinerja terbaik berdasarkan metode ATC-40 berturut-turut adalah model D, model C, model A, lalu model B.

**RENCANA ANGGARAN BIAYA**

Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada penelitian ini dihitung berdasarkan volume kebutuhan pembesian balok dan kolom, volume beton balok dan kolom, serta luas bekisting balok dan kolom.

**Volume dan Luas**

Hasil perhitungan kebutuhan volume beton, berat pembesian, serta luas bekisting untuk balok dan kolom pada **Tabel 11**.

**Tabel 11.** Perhitungan Kebutuhan Volume Beton, Berat Pembesian, dan Luas Bekisting Balok

Model Gedung	Tipe balok	Total Berat Pembesian (kg)	Total Volume Beton (m <sup>3</sup> )	Total Luas Bekisting (m <sup>2</sup> )
Model A	B1-A	243,741	1,565	9,516
	B2-A	52,160	0,258	2,757
Model B	B1-B	381,618	2,625	14,000
	B2-B	70,865	0,450	4,125
	B1-C	71,998	0,399	3,068
Model C	B2-C	224,475	1,624	9,408
	B3-C	223,334	1,610	9,328
	B4-C	59,163	0,453	3,484
	B5-C	61,199	0,468	3,595
Model D	B1-D	71,357	0,403	3,105
	B2-D	151,127	1,366	8,869
	B3-D	67,565	0,429	3,308
	B4-D	51,582	0,358	3,180
	B5-D	53,973	0,377	3,354
	B6-D	53,194	0,368	3,270

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 12.** Perhitungan Kebutuhan Volume Beton, Berat Pembesian, dan Luas Bekisting Kolom

Model Gedung	Tipe kolom	Total Berat Pembesian (kg)	Total Volume Beton (m <sup>3</sup> )	Total Luas Bekisting (m <sup>2</sup> )
Model A	K1-A	691,613	2,240	11,200
Model B	K1-B	940,451	3,500	14,000
Model C	K1-C	442,289	1,434	8,960
	K2-C	624,260	1,865	10,220

Model D	K1-D	607,793	1,715	9,800
	K2-D	367,637	1,059	7,700

Sumber: Hasil Perhitungan

**Rencana Anggaran Biaya**

Rekapitulasi rencana anggaran biaya balok dan kolom pada masing-masing model gedung dapat dilihat pada **Tabel 13**.

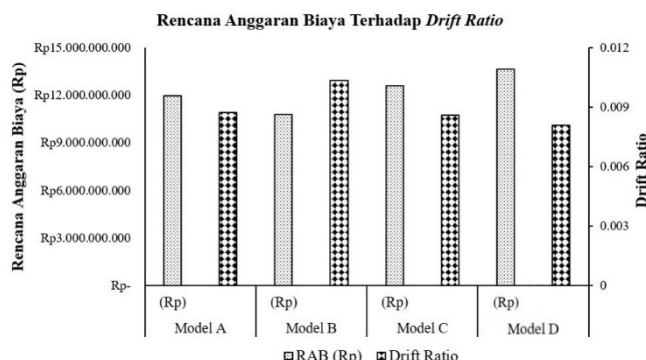
**Tabel 13.** Rencana Anggaran Biaya pada Masing-Masing Model Gedung

Model Gedung	Elemen Struktur	Anggaran Biaya	Total Anggaran Biaya
Model A	Kolom	Rp 5.885.616.587	Rp 11.985.210.407
	Balok	Rp 6.099.593.820	
Model B	Kolom	Rp 5.222.290.239	Rp 10.815.541.186
	Balok	Rp 5.593.250.947	
Model C	Kolom	Rp 6.842.659.416	Rp 12.612.232.921
	Balok	Rp 5.769.573.504	
Model D	Kolom	Rp 8.680.800.936	Rp 13.687.877.584
	Balok	Rp 5.007.076.648	

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari **Tabel 13**, dapat dilihat bahwa biaya gedung dengan sistem struktur *framed tube* yaitu model C dan model D lebih tinggi dibandingkan gedung dengan sistem struktur *frame* yaitu model A dan model B.

**Perbandingan Rencana Anggaran Biaya dengan Kinerja Struktur**



**Gambar 8.** Perbandingan RAB dengan Drift Ratio

Dengan menjadikan gedung model D yaitu gedung dengan *framed tube system* sebagai dasar, bisa didapatkan struktur yang bagus kinerjanya. Namun tentunya dengan harga yang lebih tinggi dibandingkan sistem *frame* biasa. Mengacu pada **Tabel 13**, alternatif lain jika menginginkan gedung dengan struktur yang kinerjanya bagus namun dengan harga yang lebih rendah bisa menggunakan model gedung C (*framed tube system*) yang dapat menghemat anggaran sebesar 7,86% dari model gedung D.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis dengan variasi konfigurasi kolom dan model strukturnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konfigurasi kolom dari *frame system* dibuat menjadi dua model yaitu Model A dan Model B dengan perbedaan pada dimensi dan bentang kolom. Lalu *framed tube system* dibuat menjadi dua model juga yaitu Model C dan Model D, dimana kedua model memiliki bentang kolom

yang sama yaitu 3 meter. Dengan perbedaan kolom pada perimeter luar Model C memiliki dimensi yang lebih kecil dari kolom perimeter dalamnya. Sedangkan untuk Model D merupakan kebalikan dari Model C.

2. Hasil desain elemen kolom setelah dilakukan perencanaan meliputi:
  - a. Model A  
Kolom K1-A dengan dimensi 800/800 membutuhkan tulangan utama 28S29.
  - b. Model B  
Kolom K1-B dengan dimensi 1000/1000 membutuhkan tulangan utama 32S29.
  - c. Model C  
Kolom K1-C dengan dimensi 640/640 membutuhkan tulangan utama 24S25. Sedangkan kolom K2-C dengan dimensi 730/730 membutuhkan tulangan utama 24S29.
  - d. Model D  
Kolom K1-D dengan dimensi 700/700 membutuhkan tulangan utama 24S29. Sedangkan kolom K2-D dengan dimensi 550/550 membutuhkan tulangan utama 20S25.
3. *Drift ratio* hasil *pushover analysis* berdasarkan metode spektrum kapasitas ATC-40 pada semua model gedung berada dibawah *drift limit* yaitu 0,02. Dengan gedung model D sebagai model terbaik diantara model gedung yang lain dikarenakan memiliki *drift ratio* terkecil yaitu sebesar 0,0081.
4. Hasil evaluasi kinerja pada masing-masing model gedung dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 menunjukkan bahwa model A, model C, dan model D berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Sedangkan model B berada pada level kinerja *Damage Control* (DC).
5. Rencana Anggaran Biaya bahan berupa pembesian, volume beton, serta luas bekisting balok dan kolom pada masing-masing model gedung menunjukkan bahwa gedung model D (*framed tube system*) merupakan gedung dengan anggaran biaya tertinggi yaitu sebesar Rp 13.687.877.584. Dan gedung dengan anggaran biaya terendah adalah gedung model B (*frame system*) yaitu sebesar Rp 10.815.541.186.
6. Dengan RAB pekerjaan balok dan kolom sebagai pertimbangan, gedung model A merupakan model terbaik untuk sistem struktur *frame*. Sedangkan untuk sistem struktur *framed tube*, model C adalah model terbaik. Lalu jika membandingkan RAB dan evaluasi kinerja, dengan kinerja yang baik dan harga yang lebih rendah, maka model C (*framed tube system*) merupakan model terbaik dengan selisih biaya sebesar 7,86% dari model D yang merupakan model dengan kinerja terbaik namun dengan harga yang paling tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Reynolds, J. Alamo, P. Sumasgutner, M. Mainwaring, "Urbanization and Nest Building in Birds: A Review of Threats and Opportunities", *Journal of Ornithology*, vol. 160, no. 3, pp. 841-860, 2019
- [2] R. Sinaga, C. Lesmana, "Kajian Evaluasi Kinerja Bangunan Terhadap Siaga Bencana Gempa", *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 14, no. 01, hh. 77-103, 2018
- [3] A. Abdelnaby, A. Elnashai, "Performance of degrading reinforced concrete frame systems under the Tohoku and Christchurch earthquake sequences", *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 18, no. 07, pp. 1009-1036, 2014
- [4] M. Sarcheshmehpour, H. Estekanchi, H. Moosavian, "Optimum Seismic Design of Steel Framed-Tube and Tube-In-Tube Tall Buildings", *The Structural of Tall and Special Building*, vol. 29, no. 14, pp. 1-19, 2020
- [5] F. Fu, *Design and Analysis of Tall and Complex Structures*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018
- [6] T. Rochman, N. Rasidi, Sumardi, E. N. Cahya, and A. Priyanto, "The Effect of Columns Configuration on High-Rise Building Using Performance-Based Design", *Civ. Eng. Archit.*, vol. 8, no. 6, pp. 1144-1166, 2020
- [7] Badan Standarisasi Nasional, SNI-1727-2020 tentang *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta, 2020
- [8] Badan Standarisasi Nasional, SNI-1726-2019 tentang *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Nongedung*, Jakarta, 2019
- [9] Badan Standarisasi Nasional, SNI-2847-2019 tentang *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*, Jakarta, 2019
- [10] Tavio, *Desain Rekayasa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*, Yogyakarta: Andi, 2018