

STUDI PERBANDINGAN KEBUTUHAN PERKUATAN RC JACKETING PADA VARIASI RASIO GEDUNG 6 LANTAI DENGAN ANALISIS PUSHOVER

Salsabila Niken Kalista¹, Armin Naibaho², Nawir Rasidi³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³
nikenkalistasalsabila@gmail.com¹, armin.naibaho@polinema.ac.id², nawir.rasidi@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Variasi rasio panjang dan lebar gedung berpengaruh terhadap kemampuan gedung dalam menerima gempa. Studi ini bertujuan untuk mengestimasi biaya kebutuhan material perkuatan *RC Jacketing* pada setiap variasi rasio. Pada studi ini terdapat lima gedung 6 lantai yang ditinjau dengan variasi rasio perbandingan panjang per lebar 1; 1,75; 2,5; 3,25; dan 4. Analisis *pushover* menurut ATC-40 dilakukan untuk mengetahui kurva kapasitas, level kinerja gedung, dan letak sendi plastis. Metode *RC Jacketing* menurut IS 15988 : 2013 diterapkan pada sendi plastis dan sambungan balok kolom. Estimasi dimensi kolom eksisting menghasilkan kolom 400/400 mm untuk gedung I, kolom 350/460 mm untuk gedung II, 320/500 mm untuk gedung III, kolom 300/540 mm untuk gedung IV, dan kolom 270/600 mm untuk gedung V. Estimasi dimensi balok eksisting menghasilkan balok 250/400 mm untuk seluruh gedung, balok 300/450 mm untuk gedung II, balok 200/320 mm untuk gedung IV, dan balok 150/200 mm untuk gedung 5. Level kinerja dari kelima gedung menurut ATC-40 berada pada *Damage Control*. Perkuatan *RC Jacketing* dilakukan pada lantai 1 hingga 5. Gedung I membutuhkan biaya material *RC Jacketing* sebesar Rp190.751.601,33, gedung II membutuhkan Rp197.221.349,48, gedung III membutuhkan Rp194.564.004,29, gedung IV membutuhkan Rp211.732.431,33, gedung V membutuhkan Rp217.395.398,29. Dapat disimpulkan bahwa gedung 5 dengan rasio 4 membutuhkan biaya material *RC Jacketing* terbesar, gedung 1 dengan rasio 1 membutuhkan biaya material *RC Jacketing* terkecil. Setelah perencanaan *RC Jacketing* dilakukan analisis *pushover* kembali dan level kinerja seluruh gedung meningkat menjadi *Immediate Occupancy*.

Kata kunci : rasio; analisis *pushover*; *RC jacketing*.

ABSTRACT

The variations in the ratio of the length and width of the building affects the ability of the building to receive earthquake forces. The purpose is to estimate the cost of RC Jacketing strengthening materials on each ratio variation. In this study there are five 6 storied buildings reviewed with variations in length to width ratio of 1, 1.75, 2.5, 3.25, and 4. Pushover analysis according to ATC-40 was performed to determine the capacity curve, building performance level, and the location of the plastic hinges. The RC Jacketing method according to IS 15988:2013 is applied to plastic hinges and beam column connections. Dimension estimation of existing columns resulted in 400/400 mm column for building I, 350/460 mm column for building II, 320/500 mm column for building III, 300/540 mm column for building IV, and 270/600 mm column for building V. Dimension estimation of existing beams resulted in 250/400 mm beam for all building, 300/450 mm beam for building II, 200/320 mm beam for building IV, and 150/200 mm beam for building V. The building performance level of the five buildings according to ATC-40 is in damage control. RC Jacketing strengthening is carried out on floors 1 to 5. Building I needs a RC Jacketing material cost of Rp190.751.601,33, building II Rp197.221.349,48, building III Rp194.564.004,29, building IV Rp211.732.431,33, and building V Rp217.395.398,29. It can be concluded that building 5 with a ratio of 4 needs the largest cost of RC Jacketing material, building 1 with a ratio of 1 needs the smallest cost of material. After estimating the RC Jacketing, pushover analysis was carried out again and the performance level of all building increased to Immediate Occupancy.

Keywords : ratio; pushover analysis; *RC jacketing*.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perencanaan gedung yang hanya meninjau beban gravitasi atau masih menggunakan SNI terdahulu perlu

ditinjau kembali mengingat terus berkembangnya SNI gempa di Indonesia. Peninjauan struktur bangunan eksisting untuk mengetahui perilaku gedung saat terjadi gempa diperlukan, salah satunya dengan menggunakan metode analisis *pushover*.

Analisis *Pushover*

Analisis *pushover / static nonlinier* dapat memberikan informasi mengenai cara mengidentifikasi elemen struktur mana saja yang mengalami kegagalan terlebih dahulu dan butuh perkuatan saat terjadi gempa [1]. Nilai beban statik *pushover* ditingkatkan secara bertahap hingga melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya sendi plastis (pelelehan) awal pada struktur gedung.

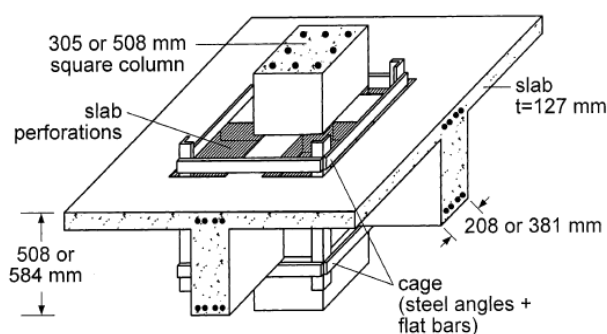
Sendi plastis adalah panjang elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa. Panjang daerah sendi plastis balok menurut SNI 2847 : 2019 [2] adalah sepanjang $2h$, dimana h merupakan tinggi penampang balok tersebut. Sedangkan panjang daerah sendi plastis kolom berada pada daerah sepanjang l_0 dari muka sambungan balok dan kolom, dengan panjang l_0 diambil dari nilai maksimal dari tinggi penampang komponen struktur (kolom) pada muka hubungan balok dan kolom, $1/6$ dari bentang bersih komponen struktur, dan 450 mm

RC Jacketing

Perkuatan elemen dilakukan sebagai upaya untuk menghindari pembongkaran dan rekonstruksi struktur keseluruhan. Sambungan balok dan kolom adalah daerah kritis dari struktur beton bertulang yang dirancang untuk menghadapi respon inelastis akibat gaya gempa [4]. Kekuatan, dan daktilitas struktur keseluruhan sangat bergantung pada kinerja sambungan dan daerah kritis ujung balok dan kolom disekitar sambungan. Perkuatan yang dilakukan pada sambungan dapat merelokasi sendi plastis dari ujung balok dan kolom untuk mengatasi kegagalan getas. *RC Jacketing* adalah salah satu metode perkuatan yang dilakukan dengan menyelimuti beton eksisting yang kurang kuat terhadap beban gempa menggunakan tulangan dan beton baru.

Pada daerah sambungannya sendiri, menurut Alcocer dan Jirsa (1991), kesulitan pemasangan tulangan sengkang pada sambungan yang mengharuskan pengeboran pada balok dapat diatasi dengan mengganti kebutuhan tulangan sengkang tersebut dengan mengelas sangkar baja mengelilingi sambungan. Sangkar baja ini terdiri dari profil baja siku yang dirancang untuk menahan ekspansi lateral

pada sambungan dan batang baja yang menghubungkan profil baja siku tersebut [5].



Gambar 1. Teknik perkuatan RC Jacketing dengan sangkar baja pada sambungan balok dan kolom

Pengaruh gempa terhadap gedung lebih berisiko terjadi pada gedung bertingkat sedang hingga tinggi. Tidak hanya itu, variasi rasio panjang dan lebar gedung juga berpengaruh terhadap kemampuan gedung menerima gempa.

Tujuan

Beberapa tujuan dari studi ini adalah menghitung dimensi dan penulangan balok dan kolom eksisting, mengevaluasi kinerja gedung dengan analisis *pushover*, menentukan elemen balok dan kolom yang butuh diperkuat, dan menghitung biaya kebutuhan material perkuatan *RC Jacketing* pada setiap variasi rasio gedung.

2. METODE

Studi ini mengambil lima desain bangunan beton bertulang gedung perkantoran 6 lantai yang berlokasi di Jl. Soekarno Hatta Kota Malang dengan luas per lantai sama yaitu 144 m^2 dan ketinggian setiap lantai adalah 3 meter. Balok dan kolom pada kelima gedung didesain memiliki volume yang sama agar seluruh gedung memiliki massa yang sama saat menerima gempa seperti pada Tabel 1.

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

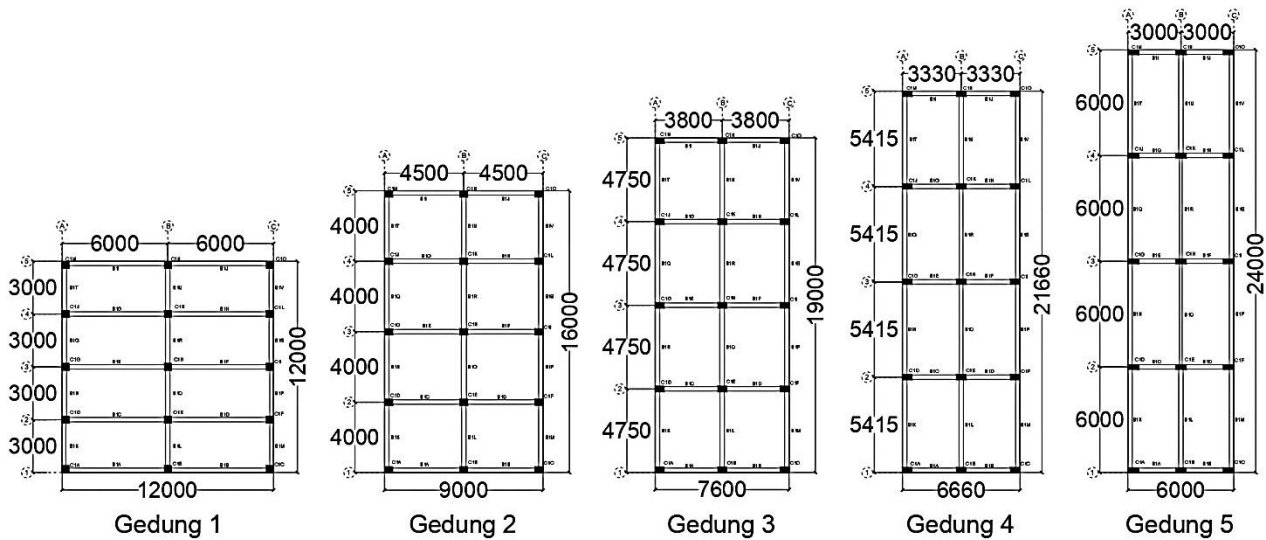
1. *Preliminary design* balok dan kolom kelima gedung ini mengikuti SNI 2847-2019 (Tabel 2).
2. *Preliminary design* kemudian dimodelkan dalam aplikasi SAP 2000 (Gambar 2), kemudian diberi beban mati, beban hidup, dan beban angin gedung yang mengacu pada SNI 1727 : 2020. Penulangan balok dan kolom mengacu pada SNI 2847:2019.
3. Analisis *pushover* dilakukan pada aplikasi SAP 2000 dengan mengacu pada ATC-40
4. Kolom yang memiliki sendi plastis berwarna merah muda (B) dan balok yang memiliki sendi plastis

berwarna kuning (C) pada hasil SAP 2000 akan direncanakan perkuatannya.

5. Balok dan kolom kelima gedung yang mengalami kegagalan diperkuat dengan metode *RC Jacketing* pada daerah sambungan dan sendi plastis dengan mengacu pada IS 15988 : 2013.
6. Material yang dibutuhkan pada perkuatan *RC Jacketing* dihitung kemudian dibandingkan diantara 5 rasio gedung.

Berikut merupakan data preliminary desain kelima gedung.

Tabel 2. Preliminary Desain Kolom dan Balok



Gedung	KOLOM		BALOK			
	p (mm)	l (mm)	Eksterior		Interior	
	p (mm)	l (mm)	p (mm)	l (mm)	p (mm)	l (mm)
1	400	400	250	400	250	400
2	350	460	250	400	300	450
3	320	500	250	400	250	400
4	300	540	250	400	200	320
5	270	600	250	400	150	200

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan Struktur

Beban struktur yang diberikan kepada kelima gedung adalah beban gravitasi yang berupa beban mati, beban hidup dan beban angin dengan kombinasi beban sebagai berikut:

1. 1,4 D + 1,4 SD
2. 1,2 D + 1,2 SD + 1,6 L + 0,5 Lr
3. 1,2 D + 1,2 SD + 1,6 Lr + 1 L
4. 1,2 D + 1,2 SD + 1,6 Lr + 0,5 W
5. 1,2 D + 1,2 SD + 1 W + 1 L + 0,5 Lr
6. 0,9 D + 0,9 SD + 1 W

Gambar 2. Denah Gedung 1, 2, 3, 4, dan 5

Tabel 1. Data area dan rasio gedung yang ditinjau

Gedung	Luas (m ²)	p (m)	l (m)	Rasio (p/l)
1	144	12	12	1
2	144	16	9	1,75
3	144	19	7.6	2,5
4	144	21,66	6,66	3,25
5	144	24	6	4

Balok

Dari hasil perhitungan struktur balok kelima gedung diperoleh hasil penulangan sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Penulangan Balok Kelima Gedung

Balok 250 x 400 mm					
Gedung 1			Gedung 2 dan Gedung 3		
Tul Balok Lapangan			Tul Balok Tumpuan		
Tarik	3	S 16	Tarik	5	S 16
Tekan	2	S 16	Tekan	3	S 16
Tul Balok Lapangan			Tul Balok Tumpuan		
Tarik	3	S 16	Tarik	3	S 16
Tekan	2	S 16	Tekan	2	S 16
Balok 300 450 mm (Gedung 2)					
Tul Balok Lapangan			Tul Balok Tumpuan		
Tarik	3	S 16	Tarik	3	S 16
Tekan	2	S 16	Tekan	2	S 16
Balok 200 320 mm (Gedung 4)					
Tul Balok Lapangan			Tul Balok Tumpuan		
Tarik	3	S 16	Tarik	4	S 16
Tekan	2	S 16	Tekan	2	S 16
Balok 150 200 mm (Gedung 5)					
Tul Balok Lapangan			Tul Balok Tumpuan		
Tarik	2	S 16	Tarik	2	S 16
Tekan	2	S 16	Tekan	2	S 16

Kolom

Dari hasil perhitungan struktur kolom kelima gedung diperoleh hasil penulangan sebagai berikut:

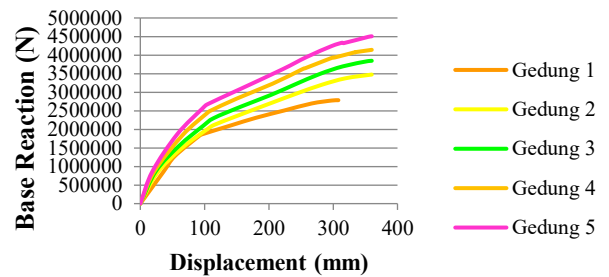
Tabel 4. Rekapitulasi Penulangan Kolom Kelima Gedung

Gedung 1			Gedung 2		
Kolom 400 x 400			Kolom 350 x 460		
Tulangan	8	S 25	Tulangan	10	S 25
Sengkang	10	- 200	Sengkang	10	- 200
Gedung 3			Gedung 4		
Kolom 320 x 500			Kolom 300 540		
Tulangan	10	S 25	Tulangan	10	S 25
Sengkang	10	- 200	Sengkang	10	- 200
Gedung 5					
Kolom 270 600					
Tulangan	10	S 25			
Sengkang	10	- 200			

Analisis Pushover

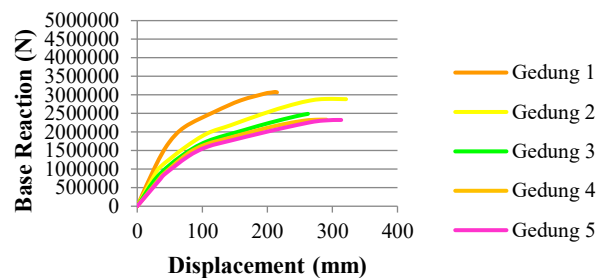
Kelima gedung menunjukkan nilai *total displacement* pada arah-Y lebih kecil daripada arah-X sehingga arah-Y memiliki kekakuan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh arah dan bentuk kolom yang memanjang ke arah X karena gedung dengan rasio 1,75; 2,5; 3,25; dan 4 memiliki panjang arah-X yang lebih pendek dan hanya ditahan oleh 3 portal kolom.

Perbandingan Kurva Kapasitas Arah X



Gambar 3. Perbandingan Kurva Kapasitas Arah X

Perbandingan Kurva Kapasitas Arah Y



Gambar 4. Perbandingan Kurva Kapasitas Arah Y

Jika ditinjau perbandingan kelima gedung, gedung yang memiliki *total displacement* arah-X terkecil adalah gedung 1, sedangkan gedung yang memiliki *total displacement* arah-Y terkecil adalah gedung 1 juga. Gedung yang mampu menerima gaya geser dasar terbesar pada arah-X adalah gedung 5, sedangkan gedung yang mampu menerima gaya geser dasar terbesar pada arah-Y adalah gedung 1. Dari kelima gedung yang ditinjau, gedung yang menunjukkan perilaku yang lebih kaku dari arah-X maupun arah-Y adalah gedung 1 sehingga permodelan gedung 1 dengan rasio 1 ini optimal untuk menahan gempa dari kedua arah.

Titik kinerja gedung menurut simpangan total maksimum maupun simpangan inelastis maksimum menunjukkan bahwa kelima gedung masuk dalam kategori *Damage Control*.

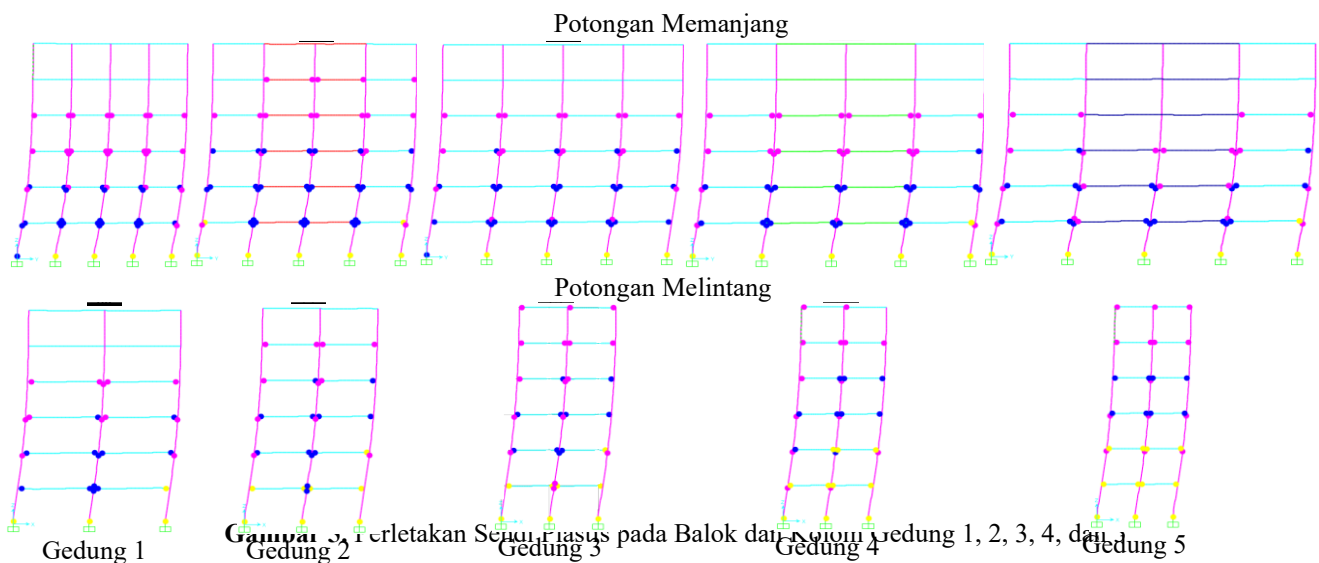
Sendi Plastis

Terdapat 3 macam tingkatan sendi plastis yang terlihat pada Gambar 5. Sebagai hasil analisis *pushover* pada step terakhir. Sendi plastis dengan warna merah muda (B) menunjukkan bahwa elemen struktur tersebut mengalami batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelehan pertama pada struktur. Warna biru (IO) menunjukkan terjadinya kerusakan kecil yang tidak berarti pada struktur, dan kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa. Sedangkan warna kuning (CP) menunjukkan batas

maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung sebelum hampir *collapse*.

RC Jacketing

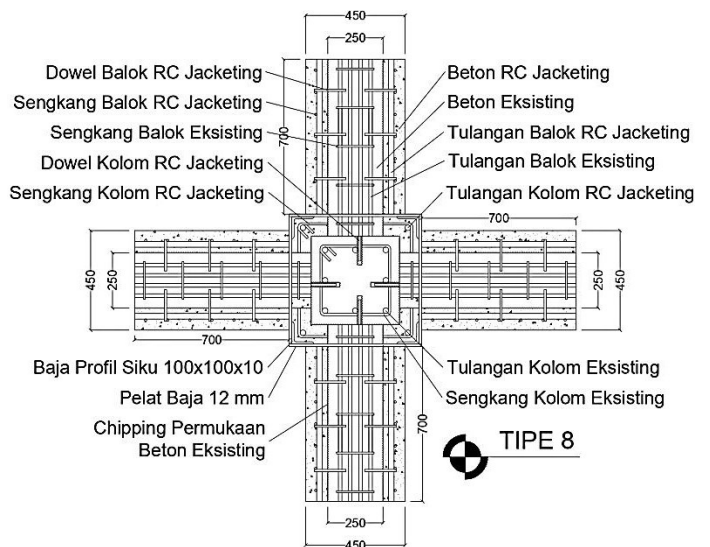
RC Jacketing pada kelima gedung dilakukan pada lantai 1 hingga 5 sesuai dengan perletakan sendi plastis setiap gedung. Penentuan tebal beton tambahan dan penulangan tambahan pada jacketing dihitung sesuai dengan IS 15988 : 2013 [6]. *Jacketing* pada kolom dan balok diletakkan mengelilingi beton eksisting.



Gambar 5. Perletakan Sendi Plastis pada Balok dan Kolom Gedung 1, 2, 3, 4, dan Gedung 5

GEDUNG	1	1
DIMENSI EKSTING	400 x 400 mm	250 x 400 mm
DIMENSI SETELAH RC JACKETING	600 x 600 mm	450 x 380 mm
POTONGAN		
KETERANGAN :	[Dotted line] = RC JACKETING [Solid line] = BETON EKSTING	
TUL. UTAMA RC JACKETING	8 S 25	5 S 25
TUL. SENGKANG RC JACKETING	P10 - 100	P10 - 100
TUL. DOWEL	4 P10 - 200	3 P10 - 200

Gambar 6. Contoh Penulangan RC Jacketing Kolom (kiri) dan Balok (kanan)



Gambar 7. Contoh Penulangan RC Jacketing pada Daerah Sambungan dan Sendi Plastis

Kuat beton *jacketing* lebih tinggi 5 MPa dari beton eksisting [3] sehingga diambil 30 MPa, sedangkan luas tulangan utama pada jacketing diambil 0.8% dari luas beton. Ikatan antara beton lama dan beton baru diperkuat dengan

membuat permukaan beton lama menjadi kasar (chipping) dan dipasangkan tulangan penghubung / dowel antara tulangan baru dan tulangan lama. Seluruh jacketing kolom kelima gedung membutuhkan tebal 100 mm dengan tulangan yang sama 8 S 25 dan sengkang P10 – 100 mm, sedangkan untuk balok dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penulangan Jacketing Balok pada Kelima Gedung

Balok 250 400		Balok 300 450	
Tul. Utama	5 S 25	Tul. Utama	6 S 25
=		=	
Tul. Seng =	P 10 - 100	Tul. Seng =	P 10 - 100
Tul. Dowel	3P 10 -	Tul. Dowel	4P 10 -
=	200	=	200
Balok 200 320		Balok 150 200	
Tul. Utama	4 S 25	Tul. Utama	3 S 25
=		=	
Tul. Seng =	P 10 - 100	Tul. Seng =	P 10 - 100
Tul. Dowel	2P 10 -	Tul. Dowel	P 10 - 200
=	200	=	

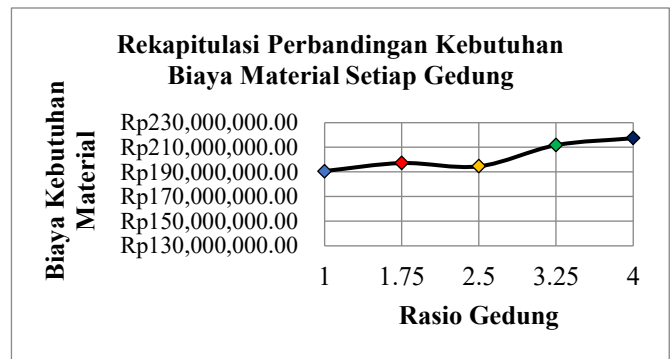
Kebutuhan Material

Seluruh gedung membutuhkan perkuatan pada 15 kolom bawah pada lantai 1, 15 sambungan pada lantai 2, 15 sambungan pada lantai 3. Pada lantai 4, gedung 1, 2, dan 3 membutuhkan 11 perkuatan sambungan, sedangkan gedung 4 dan 5 membutuhkan 15 perkuatan sambungan. Pada lantai 5, seluruh gedung membutuhkan 3 perkuatan sambungan. Material yang dihitung adalah beton f’c 30 MPa, tulangan utama S 25 mm, tulangan sengkang dan dowel P 10 mm, sangkar baja berupa baja profil siku 100 x 100 x 10 mm, pelat baja tebal 12 mm, bekisting, serta epoxy resin. Biaya kebutuhan material terbesar berada pada gedung 5, sedangkan biaya kebutuhan material terkecil berada pada gedung 1 seperti pada Gambar 8.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan analisa dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dimensi kolom eksisting menghasilkan kolom 400/400 mm untuk gedung I, kolom 350/460 mm untuk gedung II, 320/500 mm untuk gedung III, kolom 300/540 mm untuk gedung IV, dan kolom 270/600 mm untuk gedung V. Dimensi balok eksisting menghasilkan balok 250/400 mm untuk seluruh gedung, balok 300/450 mm untuk gedung II,



Gambar 8. Kurva perbandingan biaya kebutuhan material pada gedung 1, 2, 3, 4, dan 5

Analisis Pushover Setelah RC Jacketing

Setelah kelima gedung diperkuat dengan *RC Jacketing*, analisis *pushover* dilakukan untuk mengetahui peningkatan level kinerja struktur. Pada kelima gedung perkuatan *RC Jacketing* pada daerah sambungan dan sendi plastis balok dan kolom dapat menaikkan level kinerja gedung dari *Damage Control* menjadi *Immediate Occupancy*.

Tabel 6. Rekapitulasi level kinerja setelah RC Jacketing

Simp Total	Level	Simp Inelastis	Level
Max	Kinerja	Max	Kinerja
Gedung 1			
X	0,01	IO	X
Y	0,005	IO	Y
Gedung 2			
X	0,008	IO	X
Y	0,007	IO	Y
Gedung 3			
X	0,006	IO	X
Y	0,009	IO	Y
Gedung 4			
X	0,005	IO	X
Y	0,011	IO	Y
Gedung 5			
X	0,005	IO	X
Y	0,012	DC	Y

*DC = *Damage Control*, IO = *Immediate Occupancy*

balok 200/320 mm untuk gedung IV, dan balok 150/200 mm untuk gedung V.

2. Berdasarkan analisis pushover, kelima gedung memiliki level kinerja yang sama yaitu *Damage Control*. Gedung yang mampu memiliki *total displacement* terkecil dari arah-X dan arah-Y adalah gedung 1 dengan rasio 1, sehingga gedung 1 inilah yang paling optimal menerima gempa dari kedua arah.
3. Seluruh gedung membutuhkan perkuatan pada 15 kolom bawah pada lantai 1, 15 sambungan pada lantai 2, dan 15 sambungan pada lantai 3. Pada lantai 4,

gedung 1, 2, dan 3 membutuhkan 11 perkuatan sambungan, sedangkan gedung 4 dan 5 membutuhkan 15 perkuatan sambungan. Pada lantai 5, seluruh gedung membutuhkan 3 perkuatan sambungan.

4. Dari kelima gedung, gedung 5 dengan rasio 4 membutuhkan biaya kebutuhan material perkuatan terbesar, dan gedung 1 dengan rasio 1 membutuhkan biaya kebutuhan material perkuatan terkecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Applied Technology Council 40 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40 vol. 1, Applied Technology Council, Redwood City, California, U.S.A.
- [2] Badan Standarisasi Nasional 2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 2847:2019, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [3] Bureau Of Indian Standards 2013, Seismic Evaluation And Strengthening Of Existing Reinforced Concrete Buildings Guidelines, IS 15988:2013, Bureau Of Indian Standards, New Delhi.
- [4] Dalalbashi, A. Eslami, A and Ronagh. H. R, "Plastic hinge relocation in RC joints as an alternative method of retrofitting using FRP", *Composite Structures*, vol. 94, no. 8, pp. 2433-2439, Feb. 2012
- [5] Engindeniz. M, Kahn. L. F and Abdul-Hamid. Z, "Repair and strengthening of reinforced concrete beam-column joints: State of the art", *ACI structural journal*, vol. 102, no. 2, pp. 1. April. 2005
- [6] Gupta. N, Dhiman. P and Dhiman. A, "Design and detailing of RC jacketing for concrete columns", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 12, no. 6, pp. 54-58. 2015