



## STUDI PERBANDINGAN ANALISIS SCWB PADA SRPMK MENGGUNAKAN KONSEP BALOK PERSEGI DAN BALOK T

Salsabila Miyazumi Amri<sup>1</sup>, Suranta Sembiring<sup>2</sup>, Riesang Wirawan Probogumilang<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3\*</sup>Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,  
Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

Telp (022) 2504252

Alamat E-mail: riesang.probogumilang@gmail.com

### Info Artikel

### Abstrak

#### Sejarah Artikel:

Diterima: Mei 2024

Disetujui: Juni 2024

Dipublikasikan: Des 2024

#### Keywords:

SMF, SCWB, rectangular  
beam, T-beam, push over

Indonesia merupakan salah satu negara dengan risiko terjadinya gempa bumi terbesar di dunia, yang dapat merusak bahkan meruntuhkan bangunan membuat perencanaan bangunan harus tahan terhadap gempa. Studi ini mengkaji terkait perbandingan desain struktur SRPMK pada gedung perkantoran lima lantai yang berlokasi di Kota Bandung yang berdiri di atas tanah lunak dengan dua jenis konsep pemodelan yaitu konsep balok persegi dan konsep balok-T berupa perbandingan kebutuhan tulangan, rasio SCWB, dan level kinerja struktur. Dari hasil analisis perhitungan, didapatkan bahwa kebutuhan penulangan kolom dan pelat sama untuk kedua jenis konsep pemodelan. Kebutuhan tulangan balok dengan konsep pemodelan balok persegi lebih banyak dibandingkan dengan konsep pemodelan balok-T. Rasio SCWB dengan konsep pemodelan balok persegi lebih kecil dibandingkan dengan rasio SCWB dengan konsep pemodelan balok T. Rasio SCWB yang diperoleh dengan melakukan analisis menggunakan balok T pada desain pemodelan balok persegi akan berkurang secara signifikan (20-35%) bahkan terdapat rasio SCWB yang tidak memenuhi syarat karena kurang dari 1,2. Dengan analisis *pushover*, level kinerja sesuai ATC-40 dan FEMA-440, untuk struktur dengan konsep pemodelan balok persegi termasuk *damage control* dan untuk struktur dengan konsep pemodelan balok T termasuk *immediate occupancy*.

**Kata Kunci:** SRPMK, SCWB, balok persegi, balok-T, pushover.

### Abstract

*Indonesia is one of the countries with the greatest risk of earthquakes in the world, which can damage or even collapse buildings, meaning that building planning must be earthquake resistant. This study examines the comparison of the SRPMK structural design in a five-story office building located in Bandung City which stands on soft ground with two types of modeling concepts, namely the square beam concept and the T-beam concept in the form*

---

*of a comparison of reinforcement requirements, SCWB ratio, and structural performance level. From the results of the calculation analysis, it was found that the column and plate reinforcement requirements were the same for both types of modeling concepts. The need for beam reinforcement with the square beam modeling concept is more than with the T-beam modeling concept. The SCWB ratio with the square beam modeling concept is smaller than the SCWB ratio with the T beam modeling concept. The SCWB ratio obtained by carrying out analysis using the T beam in the square beam modeling design will be reduced significantly (20-35%) and there are even SCWB ratios that do not meet the requirements because it is less than 1.2. With pushover analysis, the performance level follows ATC-40 and FEMA-440, for structures with a square beam modeling concept including damage control, and structures with a T beam modeling concept including immediate occupancy.*

**Keywords:** SMF, SCWB, rectangular beam, T-beam, push over

---

© 2024

Universitas Abdurrah

---

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Ganesha 10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

E-mail: riesang.probogumilang@gmail.com

ISSN 2527-7073

---

## PENDAHULUAN

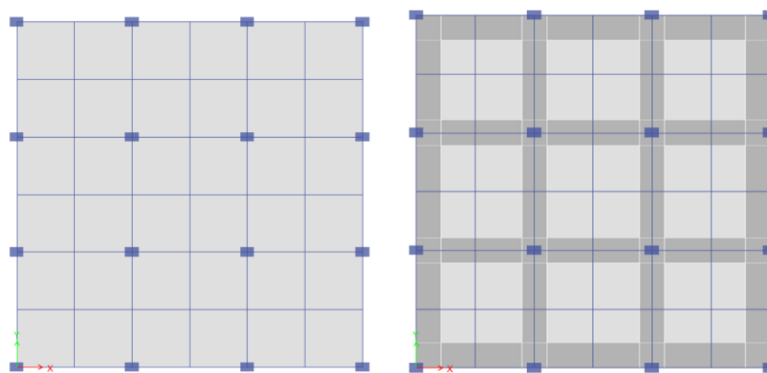
Kapasitas desain dalam rangka penahan momen menengah konsep kolom kuat balok lemah digunakan untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis pada kolom selama gempa terjadi. Konsep mekanis keruntuhan ini disebut mekanisme pergoyangan balok (*beam sway*). Kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari balok dan pelat. sedangkan balok hanya elemen struktur yang menopang dan mendistribusikan beban-beban dilantai tersebut menuju ke kolom-kolom. Sehingga jika kolom runtuh, maka semua sistem struktur yang ada di atasnya ikut runtuh juga. Tapi jika balok yang mengalami keruntuhan lebih dulu maka kerusakan hanya terjadi pada bagian balok itu kemudian menjalar ke elemen balok yang lainnya sampai struktur benar-benar runtuh total saat beban yang bekerja tidak lagi mampu ditahan keseluruhan struktur.

Beban yang ditumpu kolom dari balok berupa beban aksial tekan serta momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi), hal ini juga dipengaruhi oleh panjang balok. Adapun tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini yaitu: (1) Mengetahui pengaruh variasi jenis balok terhadap persyaratan kolom kuat balok lemah pada perencanaan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. (2) Untuk mengetahui pengaruh variasi jenis balok pada ketahanan bangunan terhadap

gempa pada SRPMK. (3) Untuk mengetahui pengaruh variasi jenis balok terhadap kebutuhan penulangan serta mendapatkan dimensi struktur yang paling efektif yang memenuhi syarat SNI dengan memperhatikan konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB). Pemodelan struktur non linier penting untuk dilakukan guna pemeriksaan terhadap pengaruh perbedaan konsep pemodelan dengan balok-T dengan balok persegi konvensional, dalam hal ini dilakukan metode *Nonlinear Static Procedure* (NSP). Sementara, pemodelan elemen plastis yang digunakan adalah dengan *Concentrated Hinge*, hal ini dilakukan untuk penyederhanaan perhitungan.

## METODE

Dalam metode penelitian ini dibagi dalam tiga tahap yaitu *input*, analisis, dan *output*. Tahap input antara lain *preliminary design* struktur, penentuan jenis beban, dan pemodelan struktur. Sedangkan tahap analisis yaitu analisis struktur tiga dimensi dengan memasukkan respons spektra, parameter analisis SCWB, dan parameter analisis *push over* pada program ETABS untuk mengetahui tingkat kinerja struktur. Tahap yang terakhir yaitu tahap *output* yang membahas tentang perbedaan hasil rasio SCWB, dan respon spektrum serta non linier *static pushover* berdasarkan metode ATC-40 dan FEMA-440. Studi ini menggunakan desain struktur dengan aplikasi ETABS, yang dilakukan pada dua jenis konsep pemodelan struktur yaitu pemodelan dengan balok persegi dan konsep kedua adalah pemodelan dengan balok-T seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Pemodelan dengan: Konsep Balok Persegi (kiri); Konsep Balok-T (kanan)

Pemodelan dengan balok-T tentunya dengan memperhitungkan lebar efektif pelat yang ditopang oleh balok berdasarkan SNI 2847 tahun 2019. Selain itu, kedua pemodelan balok-T dibedakan dalam hal *stiffness modification factor* yang disesuaikan dengan geometri penampang dan SNI 2847:2019, hal ini dimaksudkan supaya mendekati kondisi sesungguhnya. Kedua model struktur dimisalkan menjadi struktur Gedung Perkantoran (Kategori Risiko II) lima lantai dengan tinggi

antar lantai empat meter yang akan didirikan di Kota Bandung di atas tanah lunak. Beban yang diberlakukan pada kedua jenis pemodelan struktur berdasarkan SNI 1727-2020 ditunjukkan pada **Tabel 1**. Sementara untuk desain terhadap beban gempa digunakan metode Analisis Respons Ragam dengan respons spektra didasarkan pada SNI 1726 tahun 2019 dengan lokasi yang disesuaikan lokasi struktur sedemikian hingga grafik respons spektra yang digunakan ditunjukkan pada **Gambar 2**.

**Tabel 1.** Beban Gravitasi

Jenis Beban	Beban	Besaran
<b>Beban Mati</b>	Berat Jenis Beton	24 kN/m <sup>3</sup>
<b>Beban SIDL</b>	Beban Plesteran (5 cm)	1 kN/m <sup>2</sup>
	Beban Keramik	0,14 kN/m <sup>2</sup>
	Beban Plafon	0,1 kN/m <sup>2</sup>
	Beban ME	0,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Beban Hidup</b>	Beban Kantor (Lantai 1-4)	2,4 kN/m <sup>2</sup>
	Beban Hidup Atap (Lantai 5)	0,96 kN/m <sup>2</sup>



**Gambar 2.** Respon Spektra Desain Kota Bandung (2/3 MCER)

Kombinasi pembebanan untuk desain elemen struktur yang digunakan adalah dengan faktor redundansi  $\rho=1,3$  yang disesuaikan dengan kebutuhan struktur pada kategori Desain Seismik D sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Kombinasi Beban Desain Elemen Struktur

No	DL	SIDL	LL	Lr	Ex	Ey
1	1.4	1.4				
2	1.2	1.2	1.6	0.5		
3	1.2	1.2	1	1.6		
4	1.2	1.2	1	0.5		
5	0.9	0.9				
6	1.34	1.34	1		±1.3	±0.39
7	1.34	1.34	1		±0.39	±1.3
8	0.76	0.76			±0.39	±1.3
9	0.76	0.76			±1.3	±0.39
10	1	1	1	1		

**Modal Participating Mass Ratio (MPMR)**

MPMR kedua konsep struktur ditunjukkan pada **Tabel 3**. Dapat diamati bahwa kedua model struktur sudah memiliki periode dominan dalam arah translasi. Sehingga pengujian terhadap *pushover analysis* dapat dilakukan pada sumbu ortogonal X dan Y.

**Tabel 3.** MPMR: Balok Persegi (kiri); Balok-T (kanan)

MPMR Balok Persegi								MPMR Balok-T dan Balok-L							
Case	Mode	Period [sec]	Ux	Uy	Sum Ux	Sum Uy	Rz	Case	Mode	Period [sec]	Ux	Uy	Sum Ux	Sum Uy	Rz
Modal	1	1.24	0	0.8349	0	0.8349	0.0003	Modal	1	1.221	0	0.8372	0	0.8372	0
Modal	2	1.025	0.8172	0	0.8172	0.8349	0.0001	Modal	2	1.036	0.8169	0	0.8169	0.8372	0
Modal	3	0.908	0.0001	0.0003	0.8173	0.8352	0.8272	Modal	3	0.926	0	0	0.8169	0.8372	0.8281
Modal	4	0.399	0	0.1024	0.8173	0.9376	9.03E-06	Modal	4	0.393	0	0.1022	0.8169	0.9394	0
Modal	5	0.317	0.1092	0	0.9265	0.9376	1.62E-05	Modal	5	0.32	0.1093	0	0.9262	0.9394	0
Modal	6	0.288	1.63E-05	1.94E-06	0.9265	0.9376	0.1041	Modal	6	0.293	0	0	0.9262	0.9394	0.1042
Modal	7	0.228	0	0.0391	0.9265	0.9767	4.67E-06	Modal	7	0.225	0	0.0384	0.9262	0.9778	0
Modal	8	0.17	0.0447	0	0.9713	0.9767	1.23E-05	Modal	8	0.172	0.0449	0	0.9711	0.9778	0
Modal	9	0.161	1.27E-05	0.0002	0.9713	0.9769	0.0413	Modal	9	0.163	0	0	0.9711	0.9778	0.0417
Modal	10	0.157	0	0.0177	0.9713	0.9946	0.0006	Modal	10	0.156	0	0.0172	0.9711	0.995	0
Modal	11	0.125	0	0.0054	0.9713	1	6.02E-06	Modal	11	0.125	0	0.005	0.9711	1	0
Modal	12	0.111	0.0218	0	0.993	1	1.82E-05	Modal	12	0.112	0.0219	0	0.993	1	0

### Penskalaan Gaya Gempa Hasil Analisis Spektrum Respons Ragam

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.9.1.4.1 diatur bahwa hasil perhitungan gaya geser dasar hasil analisis respons ragam harus dikalikan dengan  $V/V_t$  ditunjukkan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Penskalaan Gaya Geser Arah X dan Arah Y

Arah X			Arah Y		
Scale Factor	1.22625	m/s <sup>2</sup>	Scale Factor	1.226	m/s <sup>2</sup>
$V_x = C_s W$	854.993	kN	$V_y = C_s W$	854.993	kN
$V_{xETABS}$	661.042	kN	$V_{yETABS}$	567.506	kN
Ratio	1.293		Ratio	1.507	
Pengecekan Keperluan SF Baru?	YA		Pengecekan Keperluan SF Baru?	YA	
$V/V_t$	1.58603	m/s <sup>2</sup>	$V/V_t$	1.84744	m/s <sup>2</sup>

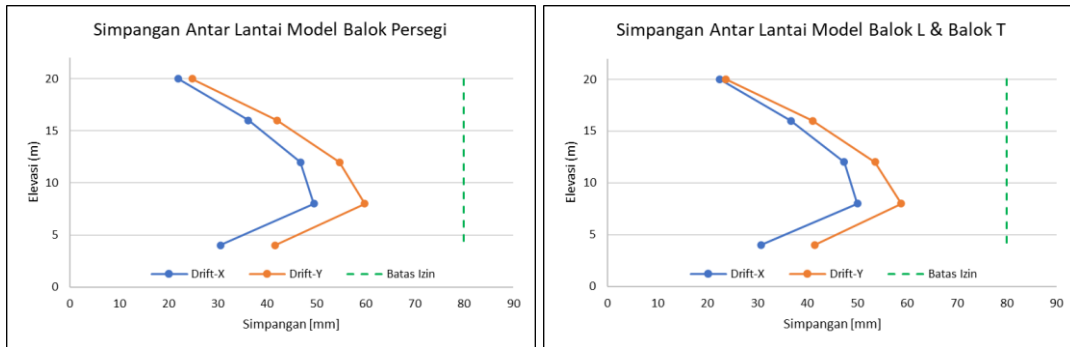
### Pemeriksaan Terhadap Ketidakberaturan

Model struktur sudah diperiksa dan dipastikan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan baik horizontal maupun vertikal.

### Pemeriksaan Batas Simpangan Antar Tingkat dan Efek P-delta

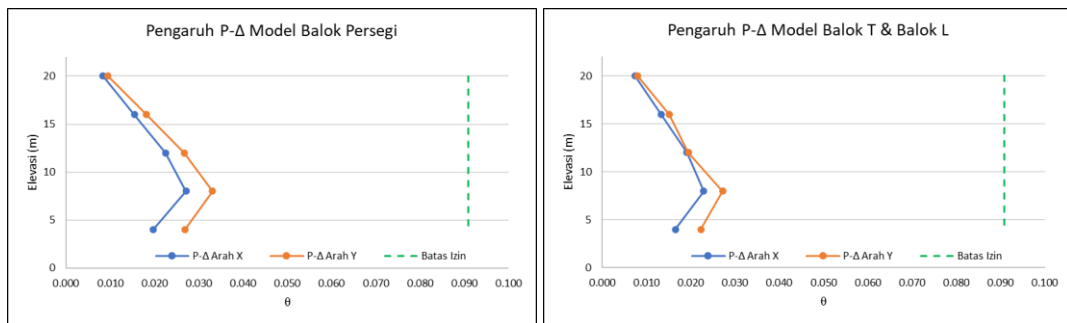
Simpangan antar tingkat dan efek P-Delta harus diperiksa sesuai dengan SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.12 dan 7.87. Dengan demikian didapatkan hasil pemeriksaan kedua model struktur sebagai berikut:

- a) Simpangan Antar Lantai:



**Gambar 3** Simpangan Antar Lantai Model: Balok Persegi (kiri) dan Balok-T (kanan)

b) Pengecekan Kestabilan terhadap P-Δ:



**Gambar 4** Model P-Delta Model: Balok Persegi (kiri) dan Balok-T (kanan)

Dengan hasil tersebut terlihat bahwa kedua pemodelan sudah memenuhi syarat-syarat tahan gempa, serta keduanya menghasilkan nilai-nilai yang tidak jauh. Sehingga dapat dikatakan bahwa pemodelan yang dilakukan sudah saling menyerupai satu sama lain.

**Desain Penampang**

Berdasarkan kombinasi pembebanan tersebut, didapatkan gaya dalam yang ditahan setiap elemen struktur. Selanjutnya digunakan untuk mendesain penulangan dan *detailing* sesuai SNI 2847:2019 untuk struktur SRPMK dengan DCR (*Demand per Capacity Ratio*) yang disamakan dan mendekati 1 (paling optimum) untuk kedua jenis konsep pemodelan.

**Desain Pelat**

Berikut ini merupakan tabulasi perhitungan desain tulangan pelat untuk arah X dan arah Y.

**Tabel 5.** Desain Tulangan Pelat: Lentur Arah-X (kiri); Lentur Arah Y (tengah); Geser (kanan)

Desain Tulangan Lentur			Arah X			Arah Y			Cek Keperluan Tulangan Geser		
cover	mm	20	cover	mm	20	Arah X			$\Phi$		0.75
$D_b=Ds$	mm	10	$D_b=Ds$	mm	10	$V_u$	kN	14.406	$V_u$	kN	14.406
$\phi$		0.9	$\phi$		0.9	$\lambda$		1	$\lambda$		1
$t_p$	mm	120	$t_p$	mm	120	$f'_c$	MPa	25	$f'_c$	MPa	25
$b_w$	mm	1000	$b_w$	mm	1000	$b_w$	mm	1000	$b_w$	mm	1000
Perhitungan			Perhitungan			$d$	mm	85	$d$	mm	85
$M_{uX}$	kN-m/m	6.848	$M_{uY}$	kN-m/m	6.634	$f_y$	MPa	420	$f_y$	MPa	420
$d$	mm	85	$d$	mm	85	$A_{s\ min\ 1}$	mm <sup>2</sup>	216	$A_{s\ min\ 1}$	mm <sup>2</sup>	216
$f_y$	MPa	420	$f_y$	MPa	420	$A_{s\ min\ 2}$	mm <sup>2</sup>	168	$A_{s\ min\ 2}$	mm <sup>2</sup>	168
$A_{s\ min\ 1}$	mm <sup>2</sup>	216	$A_{s\ min\ 1}$	mm <sup>2</sup>	216	$A_{s\ butuh}$	mm <sup>2</sup>	213.134	$A_{s\ butuh}$	mm <sup>2</sup>	213.134
$A_{s\ min\ 2}$	mm <sup>2</sup>	168	$A_{s\ min\ 2}$	mm <sup>2</sup>	168	$n$		5	$n$		5
$A_{s\ butuh}$	mm <sup>2</sup>	213.134	$A_{s\ butuh}$	mm <sup>2</sup>	206.474	$A_{s\ desain}$	mm <sup>2</sup>	392.699	$A_{s\ desain}$	mm <sup>2</sup>	392.699
$n$		5	$n$		5	CEK $A_s$	<b>OK!</b>		CEK $A_s$	<b>OK!</b>	
$A_{s\ desain}$	mm <sup>2</sup>	392.699	$A_{s\ desain}$	mm <sup>2</sup>	392.699	$s$	mm	200	$s$	mm	200
CEK $A_s$	<b>OK!</b>		CEK $A_s$	<b>OK!</b>		$s_{min}$	mm	25	$s_{min}$	mm	25
$s$	mm	200	$s$	mm	200	$s_{max}$	mm	360	$s_{max}$	mm	360
$s_{min}$	mm	25	$s_{min}$	mm	25	$s_{desain}$	mm	200	$s_{desain}$	mm	200
$s_{max}$	mm	360	$s_{max}$	mm	450	Konfigurasi Tulangan	<b>D10-200</b>		Konfigurasi Tulangan	<b>D10-200</b>	
$s_{desain}$	mm	200	$s_{desain}$	mm	200	Konfigurasi Tulangan	<b>D10-200</b>		Konfigurasi Tulangan	<b>D10-200</b>	
Konfigurasi Tulangan	<b>D10-200</b>		Konfigurasi Tulangan	<b>D10-200</b>		Cek Tulangan Geser	<b>TIDAK PERLU</b>		Cek Tulangan Geser	<b>TIDAK PERLU</b>	
						Arah Y			$\Phi$		0.75
						$V_u$	kN	9.696	$V_u$	kN	9.696
						$\lambda$		1	$\lambda$		1
						$f'_c$	MPa	25	$f'_c$	MPa	25
						$b_w$	mm	1000	$b_w$	mm	1000
						$d$	mm	85	$d$	mm	85
						$\Phi V_c$	kN	54.19	$\Phi V_c$	kN	54.19
						Cek Tulangan Geser	<b>TIDAK PERLU</b>		Cek Tulangan Geser	<b>TIDAK PERLU</b>	

### Desain Kolom

Model didesain dengan kolom persegi panjang berukuran 600x400 mm dengan persentase tulangan sebesar 1.29%. Desain tulangan longitudinal dilakukan dengan menggunakan program SPColomn . Hasil pengecekan tulangan longitudinal kolom ditunjukkan pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Hasil Pengecekan Tulangan Longitudinal Kolom pada SPColomn

No	$P_u$	$M_{ux}$	$M_{uy}$	$\Phi(M_{nx})$	$\Phi(M_{ny})$	$\Phi(M_{n})/M_u$	$N_A$ Depth	$dt$ Depth	$\epsilon_t$	$\Phi$
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	12.99	10.08	33.14	82.18	270.1	8.15	194	636	0.00685	0.9
2	1658.24	-53.72	-133.62	-113.13	-281.39	2.11	395	612	0.00165	0.65
3	793.07	169.11	23.74	263.93	37.05	1.56	148	374	0.00473	0.877
4	921.49	-169.23	-53.35	-245.36	-77.35	1.45	193	418	0.00356	0.776
5	1560.89	50.3	149.34	100.6	298.71	2.00	389	622	0.00179	0.65
6	960.86	-28.96	-148.91	-72.55	-372.99	2.51	300	637	0.00337	0.76

Jadi, tulangan longitudinal kolom adalah 8D22. Pada zona plastis dan sambungan *lap splice*, digunakan tulangan geser 6D13-100, sedangkan pada zona non-plastis digunakan tulangan geser 6D13-125.

### Desain Balok Persegi

Dari perhitungan desain sesuai SNI 2847:2019, maka detail tulangan untuk balok induk arah Y adalah sebagai berikut:

**Tabel 7.** Detail Tulangan Balok Induk X (kiri) dan Balok Induk Y (kanan)

Rekapitulasi			Rekapitulasi		
Tulangan	Tumpuan	lapangan	Tulangan	Tumpuan	lapangan
Atas	3D19	4D19	Atas	3D19	4D19
Tengah	2D19	2D19	Tengah	2D19	2D19
Bawah	4D19	3D19	Bawah	5D19	3D19
Sengkang	3D13-70	3D13-90	Sengkang	3D13-80	3D13-150

Dengan prosedur perhitungan dan pengecekan yang sama dengan balok induk, diperoleh detail tulangan untuk balok anak adalah sebagai berikut:

**Tabel 8.** Detail Tulangan Balok Anak X (kiri) dan Balok Anak Y (kanan)

Rekapitulasi			Rekapitulasi		
Tulangan	Tumpuan	lapangan	Tulangan	Tumpuan	lapangan
Atas	2D16	2D16	Atas	2D16	2D16
Tengah	-	-	Tengah	-	-
Bawah	2D16	2D16	Bawah	2D16	2D16
Sengkang	2D10-150	2D10-150	Sengkang	2D10-150	2D10-150

### Desain Balok T

Balok T didesain dengan memperhitungkan kontribusi pelat efektif. Panjang pelat efektif di luar lebar balok adalah 1062.5 mm, sehingga jumlah tulangan pelat yang termasuk ke dalam pelat efektif adalah 12D10. Dengan prosedur desain yang sama dengan desain balok, diperoleh penulangan balok induk X dan Y, balok anak X, dan balok anak Y adalah sebagai berikut.

**Tabel 9.** Detail Tulangan Balok-T Induk X (kiri) dan Balok T Induk Y (kanan)

Rekapitulasi			Rekapitulasi		
Tulangan	Tumpuan	lapangan	Tulangan	Tumpuan	lapangan
Atas	2D19	2D19	Atas	3D19	2D19
Tengah	-	-	Tengah	-	-
Bawah	2D19	2D19	Bawah	3D19	2D19
Sengkang	2D10-125	2D10-200	Sengkang	3D10-75	2D10-125

**Tabel 10.** Detail Tulangan Balok Anak X dan Balok Anak Y

Rekapitulasi			Rekapitulasi		
Tulangan	Tumpuan	lapangan	Tulangan	Tumpuan	lapangan
Atas	2D16	2D16	Atas	2D16	2D16
Tengah	-	-	Tengah	-	-
Bawah	2D16	2D16	Bawah	2D16	2D16
Sengkang	2D10-150	2D10-200	Sengkang	2D10-150	2D10-200

## HASIL DAN PEMBAHASAN



Analisis dilakukan untuk mempelajari perbedaan pengaruh antara kedua hasil desain menggunakan balok persegi dan balok T terhadap desain penampang, rasio SCWB, dan kinerja struktur berdasarkan analisis *pushover*.

### **Pengaruh Terhadap Desain Penampang**

Berdasarkan perhitungan desain penampang didapatkan gambar dengan sebagai berikut: Jumlah tulangan longitudinal, tulangan torsi, dan tulangan geser yang dibutuhkan dengan desain menggunakan konsep balok persegi lebih banyak dibandingkan desain menggunakan konsep balok T. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi pelat dalam pemodelan dengan konsep balok-T dapat diperhitungkan dengan lebih baik. Terbukti dengan jelas bahwa tahanan torsi pada pemodelan balok persegi akan lebih rendah dibandingkan pemodelan balok-T sehingga pada balok persegi dibutuhkan tulangan torsi pada tengah penampang balok. Selain itu juga terdapat tambahan kebutuhan tulangan geser dan longitudinal pada balok persegi. Terlihat bahwa hal yang sama juga terjadi untuk gaya geser dan gaya lentur, dimana kontribusi pelat pada pemodelan balok persegi tidak diperhitungkan sehingga gaya geser dan lentur akan lebih besar pada model balok persegi. Sementara untuk kolom dan pelat, hasil kedua konsep pemodelan mendapatkan menghasilkan hasil desain yang sama. Hal ini dikarenakan kolom dan pelat merupakan variabel kontrol dalam penelitian ini, dikarenakan strukturnya sama dan beban gravitasinya sama maka desain kolom dan pelat akan sama, sehingga perbedaan kebutuhan tulangan hanya terdapat pada balok.

### **Pengaruh Terhadap Rasio SCWB (*Strong Column Weak Beam*)**

Perhitungan rasio SCWB telah dilakukan dan didapatkan hasil sebagai berikut:

#### **Konsep Balok Persegi**

**Tabel 11.** Rasio SCWB Lantai 1-4 Konsep Balok Persegi

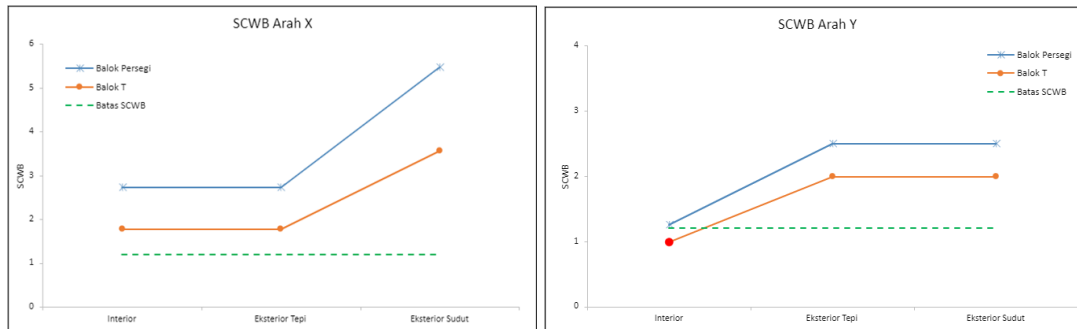
Lantai 1-4				Lantai 1-4				Lantai 1-4			
<b>Cek Gaya aksial pada kolom</b>				<b>Cek Gaya aksial pada kolom</b>				<b>Cek Gaya aksial pada kolom</b>			
Pu min	600		kN	Pu min	600		kN	Pu min	600		kN
Pu	1635.5		kN	Pu	1635.5		kN	Pu	1635.5		kN
Cek				Cek				Cek			
Cek SCWB				Cek SCWB				Cek SCWB			
<b>Kolom Interior</b>				<b>Kolom Interior</b>				<b>Kolom Interior</b>			
Arah	X	Y		Arah	X	Y		Arah	X	Y	
Mn <sub>top</sub> =Mn <sub>down</sub>	651.283	363.846	kNm	Mn <sub>top</sub> =Mn <sub>down</sub>	651.283	363.846	kNm	Mn <sub>top</sub> =Mn <sub>down</sub>	651.283	363.846	kNm
<b>Balok Arah</b>				<b>Balok Arah</b>				<b>Balok Arah</b>			
M <sub>n,l</sub>	X	Y		M <sub>n,l</sub>	X	Y		M <sub>n,l</sub>	X	Y	
M <sub>n,l</sub>	238.248	290.859	kNm	M <sub>n,l</sub>	238.248	290.859	kNm	M <sub>n,l</sub>	238.248	290.859	kNm
M <sub>n,r</sub>	238.248	290.859	kNm	M <sub>n,r</sub>	238.248	290.859	kNm	M <sub>n,r</sub>	238.248	290.859	kNm
<b>Pengecekan</b>				<b>Pengecekan</b>				<b>Pengecekan</b>			
M <sub>n,kolom</sub>	1302.566	727.693	kNm	M <sub>n,kolom</sub>	1302.566	727.693	kNm	M <sub>n,kolom</sub>	1302.566	727.693	kNm
M <sub>n,balok x</sub>	476.496	581.718	kNm	M <sub>n,balok x</sub>	476.496	290.859	kNm	M <sub>n,balok x</sub>	238.248	290.859	kNm
SCWB	2.734	1.251	kNm	SCWB	2.734	2.502	kNm	SCWB	5.467	2.502	kNm
Cek	OK			Cek	OK			Cek	OK		

### Konsep Balok-T

Tabel 12. Rasio SCWB Lantai 1-4 Konsep Balok-T

Lantai 1-4				Lantai 1-4				Lantai 1-4			
<b>Cek Gaya aksial pada kolom</b>				<b>Cek Gaya aksial pada kolom</b>				<b>Cek Gaya aksial pada kolom</b>			
Pu min	600.0		kN	Pu min	600.0		kN	Pu min	600.0		kN
Pu	1635.5		kN	Pu	1635.5		kN	Pu	1635.5		kN
Cek				Cek				Cek			
Cek SCWB				Cek SCWB				Cek SCWB			
<b>Kolom Interior</b>				<b>Kolom Interior</b>				<b>Kolom Interior</b>			
Arah	X	Y		Arah	X	Y		Arah	X	Y	
b	600	400	mm	b	600	400	mm	b	600	400	mm
h	400	600	mm	h	400	600	mm	h	400	600	mm
Cc	40	40	mm	Cc	40	40	mm	Cc	40	40	mm
ds	13	13	mm	ds	13	13	mm	ds	13	13	mm
db	22	22	mm	db	22	22	mm	db	22	22	mm
n	8	8	buah	n	8	8	buah	n	8	8	buah
As	3041.062	3041.062	mm <sup>2</sup>	As	3041.062	3041.062	mm <sup>2</sup>	As	3041.062	3041.062	mm <sup>2</sup>
T	1277.2	1277.2	kNm	T	1277.2	1277.2	kNm	T	1277.2	1277.2	kNm
a	100.176	150.264	mm	a	100.176	150.264	mm	a	100.176	150.264	mm
Mn <sub>top</sub> =Mn <sub>down</sub>	651.283	619.296	kNm	Mn <sub>top</sub> =Mn <sub>down</sub>	651.283	619.296	kNm	Mn <sub>top</sub> =Mn <sub>down</sub>	651.283	619.296	kNm
<b>Balok Arah</b>				<b>Balok Arah</b>				<b>Balok Arah</b>			
M <sub>n,l</sub>	X	Y		M <sub>n,l</sub>	X	Y		M <sub>n,l</sub>	X	Y	
M <sub>n,l</sub>	320.592	379.279	kNm	M <sub>n,l</sub>	320.592	379.279	kNm	M <sub>n,l</sub>	320.592	379.279	kNm
M <sub>n,r</sub>	320.592	379.279	kNm	M <sub>n,r</sub>	320.592	379.279	kNm	M <sub>n,r</sub>	320.592	379.279	kNm
<b>Pengecekan</b>				<b>Pengecekan</b>				<b>Pengecekan</b>			
M <sub>n,kolom</sub>	1302.566	1238.591	kNm	M <sub>n,kolom</sub>	1302.566	1238.591	kNm	M <sub>n,kolom</sub>	1302.566	1238.591	kNm
M <sub>n,balok x</sub>	641.184	758.557	kNm	M <sub>n,balok x</sub>	641.184	379.279	kNm	M <sub>n,balok x</sub>	320.592	379.279	kNm
SCWB	2.031	1.633	kNm	SCWB	2.031	3.266	kNm	SCWB	4.063	3.266	kNm
Cek	OK			Cek	OK			Cek	OK		

Pada lantai 5 pemodelan kedua jenis konsep pemodelan, pengecekan gaya aksial pada kolom menghasilkan  $P_u < P_{u,min}$  sehingga tidak perlu cek rasio SCWB. Hal ini dikarenakan kolom tidak memikul gaya aksial yang cukup untuk berperilaku sebagai kolom. Dapat dilihat bahwa nilai SCWB untuk kedua konsep pemodelan masih lebih dari 1.2 dimana rasio SCWB untuk balok persegi lebih besar ( $\leq 5.47$ ) dari rasio SCWB konsep balok T ( $\leq 4.063$ ). Hal ini dikarenakan momen nominal yang diperhitungkan pada balok-T lebih besar dibandingkan dengan balok persegi. Mengingat bahwa lebar pelat efektif ikut dimodelkan pada konsep pemodelan balok-T, maka kontribusi pelat dalam menahan gaya-gaya telah diperhitungkan. Berikut merupakan perbandingan rasio SCWB dari kedua konsep pemodelan tersebut.



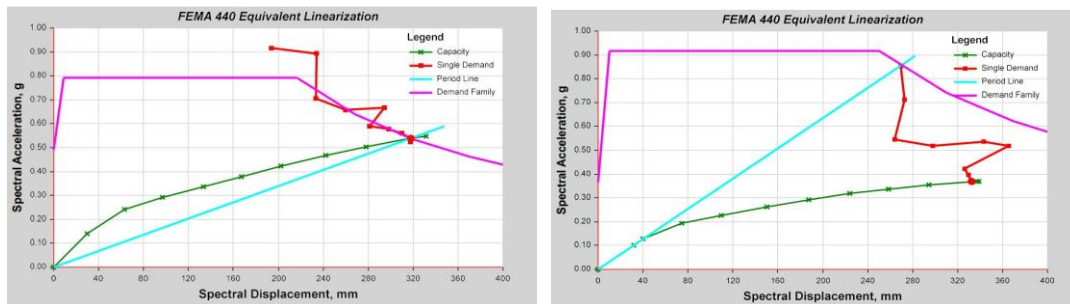
**Gambar 5** Perbandingan Rasio SCWB Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Berdasarkan perbandingan rasio SCWB sebagaimana tertera pada **Error! Reference source not found.** terjadi penurunan sebesar 20-35% rasio SCWB pada konsep pemodelan balok persegi jika dianalisis ulang dengan konsep balok-T. Bahkan apabila diamati pada **Error! Reference source not found.** terlihat bahwa rasio SCWB konsep pemodelan balok-T pada kolom interior bernilai 0,99 sementara pada konsep pemodelan balok persegi bernilai 1,25. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan rasio SCWB konsep balok persegi walaupun sudah mencapai rasio minimum 1,2, pada kenyataannya boleh jadi rasio tersebut belum terpenuhi.

**Pengaruh Terhadap Kinerja Struktur (Analisis Pushover)**

Berdasarkan hasil analisis NSP (*Nonlinear Static Procedure*) atau *Pushover Analysis* didapatkan hasil dengan sebagai berikut:

**Konsep Pemodelan Balok Persegi**

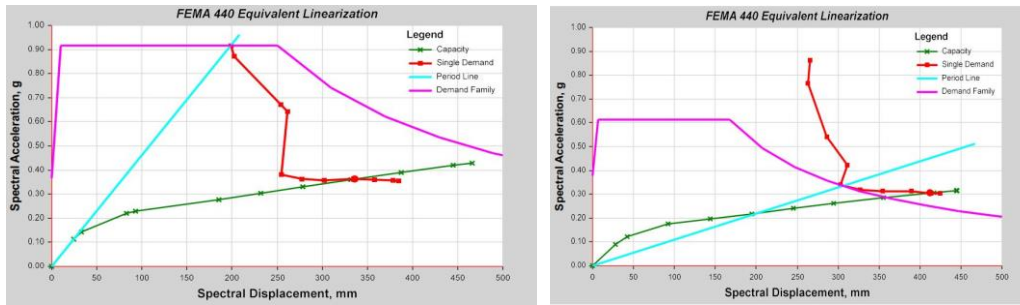


**Gambar 6** Kurva *Pushover* Konsep Model Balok Persegi: Arah X (kiri) dan Arah Y (kanan)

Tabel 13. Gaya Geser Dasar dan *Displacement Target* pada *Performance Point* Konsep Model Balok Persegi

Arah	V (kN)	D <sub>t</sub> (mm)
X	4965,8	37,5
Y	3310,9	40,8

a) Konsep Pemodelan Balok-T:



Gambar 7. Kurva *Pushover* Arah Y Konsep Pemodelan Balok-T

Tabel 14. Gaya Geser Dasar dan *Displacement* Target pada *Performance Point* Konsep Pemodelan Balok-T

Arah	V (kN)	D <sub>t</sub> (mm)
X	3028,7391	31,235
Y	2841,1156	34,726

Kemudian kedua konsep pemodelan akan dilakukan peninjauan level kinerja struktur dengan dua cara yakni berdasarkan ATC-40 dan juga FEMA-440:

a) Dengan ATC-40:

Tabel 15. Performance Level Pemodelan Konsep Balok Persegi dan Balok T Standar ATC-40

Parameter	Konsep Balok Persegi	Konsep Balok T
Maks Total <i>Drift</i> X	0,00188	0,00156
Maks Total <i>Drift</i> Y	0,00204	0,00174
Level Kinerja	DC	IO

b) Dengan FEMA-440:

Tabel 16. Performance Level Pemodelan Konsep Balok Persegi dan Balok T Standar FEMA440

Parameter	Konsep Balok Persegi	Konsep Balok T
Maks Total <i>Drift</i> X	0,00593	0,00942
Maks Total <i>Drift</i> Y	0,01093	0,00570
Level Kinerja	DC	IO

Berdasarkan hasil dari kedua standar penentuan kinerja struktur, didapatkan bahwa kedua konsep pemodelan menunjukkan hasil yang tidak terlalu jauh, namun perlu dicatat bahwa konsep dengan balok persegi menunjukkan hasil yang sedikit lebih konservatif. Dapat dilihat pada penentuan *performance level* FEMA-440, pemodelan dengan konsep balok persegi menunjukkan pada level

DC (*Damage Control*) sementara pada konsep pemodelan balok-T menunjukkan pada level IO (*Immediate Occupancy*).

## **KESIMPULAN**

Berikut merupakan kesimpulan yang dapat diambil dari studi yang dilakukan.

1. Desain tulangan lentur, geser, dan torsi pada konsep pemodelan balok persegi akan menghasilkan jumlah lebih banyak dibandingkan dengan konsep pemodelan dengan balok-T, hal ini dikarenakan diperhitungkannya kontribusi pelat efektif dalam pemodelan dengan konsep balok-T.
2. Rasio SCWB pada pemodelan dengan konsep balok-T lebih kecil dibandingkan dengan pemodelan konsep balok persegi, hal ini dikarenakan momen nominal yang diperhitungkan pada balok-T lebih besar dibandingkan dengan balok persegi.
3. Terjadi penurunan signifikan (20-35%) rasio SCWB pada pemodelan konsep balok persegi jika dianalisis ulang dengan konsep balok-T.
4. Dari hasil analisis *pushover* nilai gaya geser ( $V$ ) dan *displacement* ( $D$ ) portal balok persegi lebih besar dibandingkan dengan portal balok T. Sehingga pada perhitungan level kinerja sesuai ATC-40 dan FEMA-440 portal balok persegi termasuk *Damage Control* dan portal balok T termasuk *Immediate Occupancy*.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Seismic Safety Commission State of California: California.
- ATC-55 Project. 2004. FEMA 440 - *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 2847:2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. SNI 1727:2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.