

# LAPORAN PENELITIAN APLIKATIF-KREATIF

No: 05/PEN/SIPIL/2012



**EVALUASI KINERJA SISTEM GANDA SRPMK DAN SRBK YANG  
MENGUNAKAN *REDUCED BEAM SECTION*  
PADA KEDUA ARAH ORTHOGONAL BANGUNAN  
DI WILAYAH 2 PETA GEMPA INDONESIA**

Oleh:  
Ima Muljati  
Effendy Tanojo  
Ta An  
Yehezkiel Arief S.

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA  
SURABAYA  
Maret 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

### LAPORAN PENELITIAN PELAKSANAAN PENELITIAN APLIKATIF KREATIF

1	a. Judul Penelitian	Evaluasi Kinerja Sistem Ganda SRPMK dan SRBK yang Menggunakan <i>Reduced Beam Section</i> pada Kedua Arah Orthogonal Bangunan di Wilayah 2 Peta Gempa Indonesia
	b. Bidang Ilmu	Teknik Sipil/ <i>Earthquake Engineering</i>
2	Ketua Peneliti:	
	a. Nama Lengkap dan Gelar	Ima Muljati, S.T., M.T., M.Eng.
	b. NIP	93031
	c. Jurusan/Fakultas/Pusat Studi	Teknik Sipil/ Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
3	Alamat Ketua Peneliti	Jurusan Teknik Sipil, UK Petra Jl. Siwalankerto 121 – 131 Surabaya +62 31 2983398; imuljati@petra.ac.id
4	Jumlah Anggota Peneliti	3
	a. Nama Anggota Penelitian I	Effendy Tanojo, S.T., M.Eng.
	b. Nama Anggota Penelitian II	Ta An
	c. Nama Anggota Penelitian III	Yehezkiel Arief S.
5	Lokasi Penelitian	Surabaya
6	Kerjasama dengan institusi lain	---
7	Jangka Waktu Penelitian	6 bulan
8	Biaya yang diusulkan	
	a. Sumber dari UK Petra	
	b. Sumber lainnya	Rp. 3,000,000
	Total	Rp. 3,000,000

Surabaya, 1 Maret 2012

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Sipil



Daniel Tiandra S.T., M.Eng.  
NIP: 03010



Ketua Peneliti,



Ima Muljati, S.T., M.T., M.Eng.

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan



Ir. Nandoko Sugiharto, M.T.  
NIP: 84028



## PRAKATA

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian mengenai Perencanaan Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*) yang dilakukan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra. Tujuan utama penelitian tentang Perencanaan Berbasis Kinerja ini adalah memberikan kontribusi aktif dalam penyempurnaan peraturan perencanaan struktur beton dan baja untuk bangunan gedung di Indonesia.

Dalam kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada beberapa pihak yang telah terlibat, yaitu:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas perkenan dan hikmatnya sehingga penelitian ini boleh berlangsung dengan lancar.
2. Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Kristen Petra dan Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Kristen Petra yang telah menyetujui pelaksanaan penelitian ini.
3. Ketua Jurusan Teknik Sipil UK Petra yang telah membantu proses seleksi dan administratif sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik.

Pada akhirnya penelitian ini tidak lepas dari beberapa kekurangan yang tidak bisa kami hindari. Untuk itu kami mohon maaf jika ada kesalahan, baik itu disengaja maupun tidak. Kami mengharapkan masukan dan semoga penelitian ini dapat berguna bagi semua pihak yang membutuhkan, terutama demi kemajuan dunia teknik sipil di Indonesia.

Surabaya, 30 Agustus 2011

Peneliti

# EVALUASI KINERJA SISTEM GANDA SRPMK DAN SRBK YANG MENGGUNAKAN *REDUCED BEAM SECTION* PADA KEDUA ARAH ORTHOGONAL BANGUNAN DI WILAYAH 2 PETA GEMPA INDONESIA

## ABSTRAK

Sejumlah penelitian setelah Gempa Northridge 1994 menunjukkan terjadi kegagalan pada struktur baja akibat kerusakan sambungan. Dari sejumlah penelitian yang dilakukan, penggunaan *reduced beam section* (RBS) menjadi salah satu alternatif solusi yang paling menarik. Pada RBS, sebagian luasan sayap profil balok dikurangi agar kapasitas momen nominalnya menjadi berkurang. Pengurangan ini menyebabkan lokasi sendi plastis berpindah dari daerah sambungan ke bagian balok sehingga struktur dapat mengalami mekanisme keruntuhan yang lebih aman. Penelitian terhadap sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK) yang menggunakan RBS pada satu arah menunjukkan hasil yang cukup memuaskan walaupun drift yang terjadi masih terlalu berlebihan. Penelitian terakhir terhadap SRPMK yang menggunakan RBS dalam dua arah juga menghasilkan kinerja struktur yang baik, namun kurang ekonomis akibat penggunaan dimensi kolom yang relatif besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem ganda SRPMK dan sistem rangka bresing eksentris (SRBE) yang menggunakan RBS. Struktur direncanakan sebagai sistem ganda menurut peraturan perencanaan struktur baja Indonesia, SNI 03-1729-2002, sedangkan penampang RBS direncanakan menurut AISC 358-05. Sebagai studi kasus dipilihlah bangunan perkantoran 6- dan 10-lantai yang direncanakan berada di wilayah 2 peta gempa Indonesia menurut SNI 03-1726-2002. Kinerja struktur diperiksa menggunakan analisis statis nonlinier pushover dan analisis dinamis *time history*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan sistem ganda tidak dapat dipenuhi. Mekanisme *strong column weak beam* hanya terjadi pada sumbu kuat kolom yang menggunakan sistem SRPMK sedangkan dalam arah sumbu lemah kolom yang menggunakan SRBKK tidak terjadi mekanisme yang diharapkan. Kinerja struktur kurang baik akibat terjadinya keruntuhan struktur yang nondaktail.

Kata Kunci: sistem rangka pemikul momen khusus, sistem rangka bresing kosentris, kinerja struktur, *reduced beam section*.

## ABSTRACT

Several researches conducted after the 1994 Northridge Earthquake showing the failure of steel structures are caused by the failure of moment frame connection. Among the proposed solutions, reduced beam section (RBS) connection becomes the most prospective alternatives. In RBS, some of flanges section area of beams are reduced so that its nominal moment capacity decreasing. The effort leads to the movement of plastic hinges location from the face of beam-column connection to the section of RBS, resulting the more safe plastic collapse mechanism. The research on special moment frames (SMF) using RBS in one direction has been conducted and the result show that

the structures experience safe mechanism although their drift are quite excessive. Furthermore, the use of RBS in two orthogonal direction of SMF resulting good structural performance, but inefficient in the columns' section. Continuing the last research, this study is aimed to observe the structural performance of steel dual system, SMF and concentrically braced frame (CBF), using RBS. Structures are design based on Indonesian steel code, SNI 03-1729-2002 and AISC 358-05. Two office building structures in zone 2 of Indonesian map which are 6- and 10-story with symmetrical and typical plan are chosen as the case study. The structural performance is checked using nonlinear static pushover analysis and nonlinear time history analysis. The results show that the design of the dual system could not meet the requirement of SNI 03-1729-2002. The SMF performed well and the mechanism of strong column weak beam could be met. Unfortunately, the CBF failed to fulfill the mechanism as expected leadings to brittle failure of structures.

Keywords: special moment frame, concentrically braced frame, structural performance, reduced beam section.

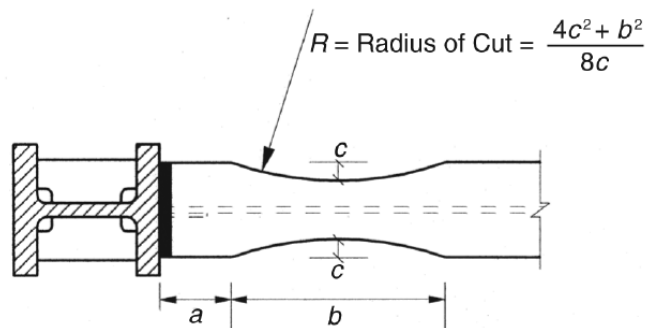
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PRAKATA .....	ii
ABSTRAK .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
1. LATAR BELAKANG .....	1
2. PERUMUSAN MASALAH .....	2
3. TUJUAN .....	2
4. RUANG LINGKUP .....	2
5. LANDASAN TEORI .....	3
6. DESAIN DAN ANALISIS .....	7
7. METODOLOGI PENELITIAN .....	8
8. HASIL PENELITIAN .....	9
9. KESIMPULAN DAN SARAN .....	19
10. DAFTAR PUSTAKA .....	20

## 1. LATAR BELAKANG

Evaluasi kegagalan struktur baja pasca gempa Northridge tahun 1994 menunjukkan adanya pola keruntuhan yang tidak daktail. Sebagian besar struktur mengalami kegagalan pada bagian sambungannya. Hal tersebut terjadi baik pada sambungan las maupun baut (FEMA, 2000). Kondisi tersebut mendorong para peneliti untuk mencari alternatif sambungan yang menghasilkan perilaku struktur yang lebih baik dan memiliki pola keruntuhan yang aman.

Federal Emergency Management Agency, FEMA (2000) merekomendasikan penggunaan *Reduced Beam Section* (RBS) pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Pada RBS, bagian sayap profil balok sejarak  $a$  dari muka kolom, dipotong sebagian dengan radius tertentu. Bentuk geometri dan ukuran pemotongan sayap balok menurut AISC 358-05 (2005) dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



**Gambar 1 Geometri dan Ukuran Pemotongan RBS (AISC 358-05)**

Pengurangan luas penampang balok menyebabkan kapasitas balok di daerah RBS menjadi berkurang. Dengan demikian deformasi inelastis yang terjadi selama gempa tidak terjadi pada bagian sambungan balok-kolom melainkan pada bagian RBS. Keuntungan lain penggunaan RBS adalah kemudahan pencapaian kondisi *strong column weak beam* karena pengurangan kapasitas nominal balok menyebabkan tuntutan kapasitas nominal kolom pada struktur dengan RBS tidak sebesar pada balok konvensional.

Limongan dan Leonata (2010) serta Hadinyoto dan Luis (2010) meneliti penggunaan RBS pada struktur baja dengan SRPMK 6- dan 10-lantai di wilayah 2 dan 6 peta gempa Indonesia. Penelitian tersebut menggunakan RBS pada satu arah saja, yaitu sebidang dengan sumbu kuat kolom. Struktur diasumsikan memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup dalam arah tegak lurus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan RBS dapat lebih menjamin terpenuhinya persyaratan *strong column weak beam*. Jika dibandingkan dengan SRPMK konvensional yang diteliti oleh Budiharjo dan Santoso (2007) serta Wiyono dan Yuwono (2008), ukuran profil balok dan kolom yang dipakai pada SRPMK yang menggunakan RBS lebih efisien. Akan tetapi simpangan antar tingkat (*drift*) yang terjadi masih lebih besar daripada yang disyaratkan oleh *Vision 2000* (SEAOC, 2005).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Darmawan dan Hermawan (2010), meneliti kinerja SRPMK di wilayah 2 dan 6 peta gempa Indonesia yang menggunakan RBS pada kedua

sumbu ortogonal bangunan. Untuk mengurangi simpangan antar tingkat yang berlebihan pada penelitian sebelumnya, kolom-kolom menggunakan penampang *kingcross*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan RBS menghasilkan *damage index* balok dan kolom yang memenuhi kriteria FEMA-350. Walaupun *drift* dan *damage index* yang terjadi relatif aman, namun hasil desain bangunan tidak ekonomis, karena berat profil yang dipakai lebih besar dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya.

RBS memiliki prospek yang baik untuk diterapkan pada struktur baja di Indonesia. Oleh sebab itu studi ini bertujuan meneliti lebih lanjut kinerja struktur baja khususnya sistem ganda rangka penahan momen khusus (SRPMK) dan sistem rangka bresing kosentris (SRBK) yang menggunakan RBS pada kedua sumbu orthogonal bangunan. Penggunaan sistem ganda sengaja dipilih untuk meneliti kemungkinan efisiensi penggunaan profil dibandingkan penelitian sebelumnya.

## **2. PERUMUSAN MASALAH**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

- Bagaimana kinerja sistem ganda SRPMK dan SRBK di wilayah peta gempa 2 jika balok-balok pada kedua arah orthogonal bangunan menggunakan RBS?
- Apakah dengan sistem ganda SRPMK dan SRBK yang menggunakan RBS pada kedua arah ortogonal bangunan, akan menghasilkan desain yang lebih ekonomis?

## **3. TUJUAN**

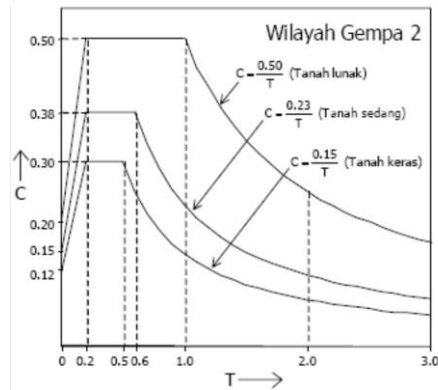
Penelitian ini bertujuan untuk:

- Mengetahui kinerja sistem ganda SRPMK dan SRBK yang menggunakan RBS pada kedua arah orthogonal bangunan yang didesain berdasarkan SNI 03-1729-2002 dan AISC 358-05 pada wilayah 2 peta gempa Indonesia.
- Mengevaluasi efisiensi penggunaan profil pada sistem ganda SRPMK dan SRBK yang menggunakan RBS pada kedua arah ortogonal bangunan dibandingkan SRPMK yang telah diteliti sebelumnya.

## **4. RUANG LINGKUP**

Bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah bangunan perkantoran 6- dan 10-lantai yang berdiri di atas tanah lunak di wilayah 2 peta gempa Indonesia yang memiliki respon spektrum seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

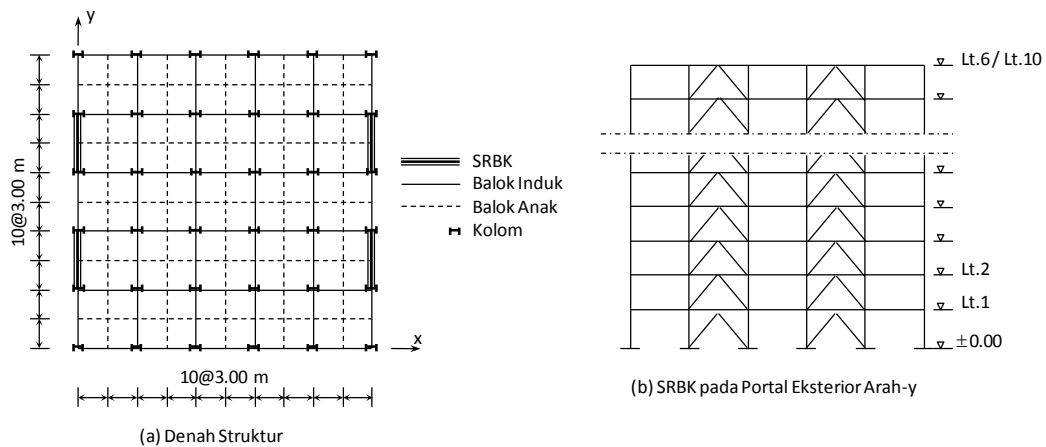




**Gambar 2 Respon Spektrum Wilayah 2 Peta Gempa Indonesia (SNI 1726-2002).**

Bangunan terbuat dari struktur baja yang direncanakan sebagai sistem ganda SRPMK (arah-x) dan SRBK (arah-y) menurut SNI 1729-02, sedangkan RBS direncanakan menurut AISC 358-05. Tinggi lantai pertama adalah 4.00 meter sedangkan tinggi lantai lainnya 3.50 meter. Denah dan elevasi struktur yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3.

Sistem lantai adalah beton bertulang dengan tebal 120 mm, yang didukung oleh balok anak setiap jarak 3 m untuk arah-x dan -y. Mutu baja struktural yang dipergunakan adalah BJ37. Pelat lantai terbuat dari beton bertulang dengan mutu  $f'_c$  25 MPa.



**Gambar 3 Struktur yang Ditinjau**

## 5. LANDASAN TEORI

SNI 1729-02 tidak mengatur tentang RBS, sehingga dalam penelitian ini perencanaan RBS mengacu pada AISC 358-05. Prosedur perencanaan RBS menurut AISC 358-05 adalah sebagai berikut:

1. Menentukan geometri RBS (mengacu pada Gambar 1)

$$0,5 b_f \leq a \leq 0,75 b_f \quad (1)$$

$$0,65 d \leq b \leq 0,85 d \quad (2)$$

$$0,1 b_f \leq c \leq 0,25 b_f \quad (3)$$

keterangan:

$b_f$  = lebar sayap balok (mm)

$d$  = tinggi balok (mm)

$a$  = jarak dari muka kolom hingga awal potongan RBS (mm), dalam penelitian ini diambil  $0.625 b_f$ .

$b$  = panjang potongan RBS (mm), dalam penelitian ini diambil  $0.75 d$ .

$c$  = kedalaman coakan pada tengah RBS (mm)

2. Menghitung modulus plastis pada penampang minimum RBS

$$Z_e = Z_x - 2ct_{bf} (d - t_{bf}) \quad (4)$$

keterangan:

$Z_e$  = modulus plastis penampang minimum RBS ( $\text{mm}^3$ )

$Z_x$  = modulus plastis balok tanpa RBS ( $\text{mm}^3$ )

$t_{bf}$  = tebal sayap balok (mm)

3. Menghitung momen maksimum pada penampang minimum RBS:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (5)$$

keterangan:

$M_{pr}$  = momen *probable* maksimum pada bagian tengah penampang RBS (Nmm)

$R_y$  = rasio tegangan leleh yang diharapkan dibanding tegangan leleh minimum, diambil sebesar 1.50 untuk baja A36 atau BJ37

$C_{pr}$  = faktor untuk menghitung kekuatan ultimate dari koneksi, termasuk akibat *strain hardening*, *local restraint*, *additional reinforcement*, bergantung dari keadaan koneksi. Dalam AISC 358-05 merekomendasikan nilai  $C_{pr}$ :

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.20 \quad (6)$$

keterangan:

$F_y$  = tegangan leleh minimum ( $\text{N/mm}^2$ )

$F_u$  = tegangan pada saat *strain hardening* ( $\text{N/mm}^2$ )

4. Menghitung gaya geser pada bagian tengah RBS ( $V_{RBS}$ ) dengan memperhitungkan pengaruh momen leleh pada bagian tengah RBS ( $M_{PR}$ ) dan pengaruh geser dari kombinasi gaya gravitasi ( $w$ ) dan gaya gempa. Menurut AISC 358-05, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah  $1.2D + f_1L + 0.2S$ . Gambar 4 menunjukkan balok dengan RBS dan *freebody* yang digunakan untuk mencari nilai  $V_{RBS}$ .

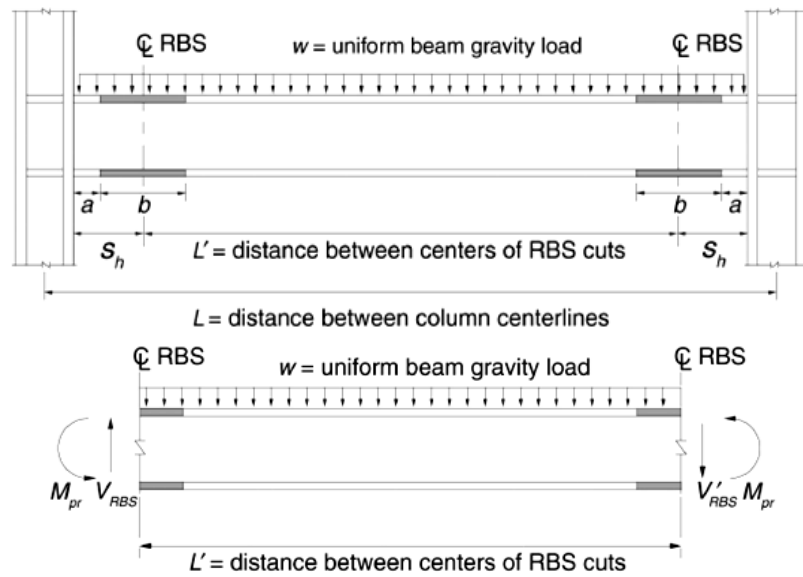
Faktor  $f_1$  merupakan faktor beban untuk *live load*, dan diambil tidak lebih kecil dari 0.50. Rumus dari gaya geser pada bagian tengah RBS tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_{RBS} = \frac{2M_{PR}}{L'} + \frac{wL'}{2} \quad (7)$$

$$V'_{RBS} = \frac{2M_{PR}}{L'} - \frac{wL'}{2} \quad (8)$$

keterangan:

$L'$  = jarak antara bagian tengah RBS



**Gambar 4 Balok dengan RBS dan Beban Merata Gravitasi serta Diagram *Free-Body* untuk Menentukan Nilai  $V_{RBS}$  (AISC 358-05)**

5. Menghitung momen maksimum yang mungkin terjadi pada muka kolom dari diagram *free body* dari momen di tengah RBS seperti pada Gambar 5.

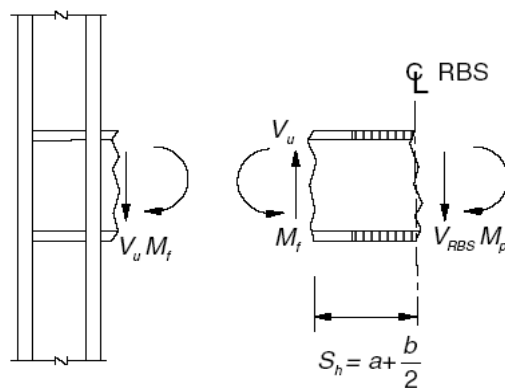
$$M_f = M_{pr} + V_{RBS}S_h \quad (9)$$

keterangan:

$M_f$  = momen maksimum yang mungkin terjadi pada muka kolom (N-mm)

$V_{RBS}$  = gaya geser maksimum dari dua RBS di tiap ujung balok (N)

$S_h$  =  $a + b/2$  (mm)



**Gambar 5 Diagram *Free-Body* untuk Menentukan Nilai  $M_f$  (AISC 358-05)**

6. Menghitung momen plastis balok berdasarkan tegangan leleh yang diharapkan:

$$M_{pe} = Z_b R_y F_y \quad (10)$$

keterangan:

$M_{pe}$  = momen plastis berdasarkan tegangan leleh yang diharapkan (N-mm)

$Z_b$  = modulus penampang plastis ( $\text{mm}^3$ )

7. Memeriksa  $M_f$  harus kurang daripada  $\phi_d M_{pe}$ . Jika hasilnya tidak memenuhi maka nilai c harus ditingkatkan dan/atau mengurangi nilai dari a dan b.

$$M_f \leq \phi_d M_p \quad (11)$$

keterangan:

$\phi_d$  = faktor reduksi untuk daktilitas maksimum

8. Menghitung gaya geser ultimit balok.

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L'} + V_{gravity} \quad (12)$$

keterangan:

$V_u$  = gaya geser ultimit balok

$L'$  = jarak antara titik tengah RBS (mm)

$V_{gravity}$  = gaya geser balok dari kombinasi pembebanan  $1.2D + 0.5L + 0.2S$

9. Menghitung perbandingan rasio momen kolom terhadap balok

$$\Sigma M_{pb} \approx \Sigma (M_{pr} + M_v) \quad (13)$$

keterangan:

$M_{pr}$  = momen plastis yang mungkin terjadi (N-mm)

$M_v = V_{RBS} (a + b/2 + d_c/2)$

$V_{RBS}$  = gaya geser maksimum dari dua RBS di tiap ujung balok (N)

$d_c$  = tinggi kolom (mm)

Berdasarkan Persamaan (5) dan (13) didapatkan Persamaan (14):

$$\Sigma M_{pb}^* = \Sigma (C_{pr} R_y f_y Z_e + V_{RBS} \times s) \quad (14)$$

keterangan:

$\Sigma M_{pb}^*$  = jumlah momen balok pada pertemuan as balok dan as kolom

$s$  =  $a + b/2 + d_c/2$

= jarak dari penampang minimum RBS ke as kolom

Struktur dimodelkan secara 3D menggunakan program SAP2000. Struktur menerima beban mati berupa berat sendiri struktur dan beban hidup untuk bangunan perkantoran sesuai Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1993 sedangkan beban gempa dihitung sebagai beban statis ekuivalen sesuai SNI 1726-02.

Balok direncanakan sesuai SNI 1729-02 mengikuti persamaan interaksi:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375 \quad (15)$$

keterangan:

$M_u$  = momen ultimit

$M_n$  = momen nominal

$V_u$  = gaya geser ultimit

$V_n$  = gaya geser nominal

$\phi$  = faktor reduksi

Kolom direncanakan sesuai SNI 1729-02 mengikuti persamaan interaksi:

Bila  $\frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2$  maka

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \quad (16)$$

Bila  $\frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2$  maka

$$\frac{N_u}{2\phi N_n} + \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \leq 1 \quad (17)$$

keterangan:

$N_u, N_n$  = gaya aksial ultimit dan nominal

$M_{ux}, M_{uy}$  = momen ultimit dalam arah sumbu x dan y penampang kolom

$M_{nx}, M_{ny}$  = momen nominal dalam arah sumbu x dan y penampang kolom

$\phi$  = raktor reduksi

Untuk menjamin persyaratan *strong column weak beam*, SNI 1729-02 mensyaratkan:

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad (18)$$

$\Sigma M_{pc}^*$  adalah jumlah momen-momen kolom di bawah dan di atas sambungan pada pertemuan balok-kolom.  $\Sigma M_{pc}^*$  ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal kolom, termasuk *voute* bila ada, di atas dan di bawah sambungan balok-kolom dengan reduksi akibat beban aksial tekan kolom. Diperkenankan untuk mengambil nilai  $\Sigma M_{pc}^* = \Sigma Z_c (f_{yc} - N_{uc} / A_g)$ .  $\Sigma M_{pb}^*$  adalah jumlah momen-momen balok pada pertemuan as balok dan as kolom.  $\Sigma M_{pb}^*$  ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal balok di daerah sendi plastis pada as kolom. Diperkenankan untuk mengambil  $\Sigma M_{pb}^* = \Sigma (1,1 R_y M_p + M_y)$ .

keterangan:

$f_{yc}$  = tegangan leleh penampang kolom

$N_{uc}$  = gaya aksial tekan terfaktor pada kolom

$Z_c$  = modulus plastis kolom

$R_y$  = faktor modifikasi tegangan leleh (diambil 1.50 untuk BJ37)

$M_y$  = momen tambahan akibat amplifikasi gaya geser dari lokasi sendi plastis ke as kolom

Selain harus memenuhi persyaratan *strong column weak beam*, SNI juga mensyaratkan kekompakan penampang profil sesuai Tabel 15.7-1 dan Tabel 7.5-1. Dalam level elastis struktur juga harus memenuhi persyaratan layan dan ultimit mengikuti ketentuan dalam pasal 8.1 dan 8.2.

## 6. DESAIN DAN ANALISIS

Untuk mengukur kinerja struktur dilakukan analisis statis nonlinier *pushover* menggunakan program ETABS v9.7 dan analisis dinamis nonlinier *time history* menggunakan program SAP2000 v11. Kriteria pengukuran kinerja struktur menggunakan

Vision 2000 (SEAOC, 2005) untuk parameter *drift* dan FEMA-350 (SAC, 2000) untuk parameter *damage index*. Matriks kinerja struktur dapat dilihat pada Gambar 6.

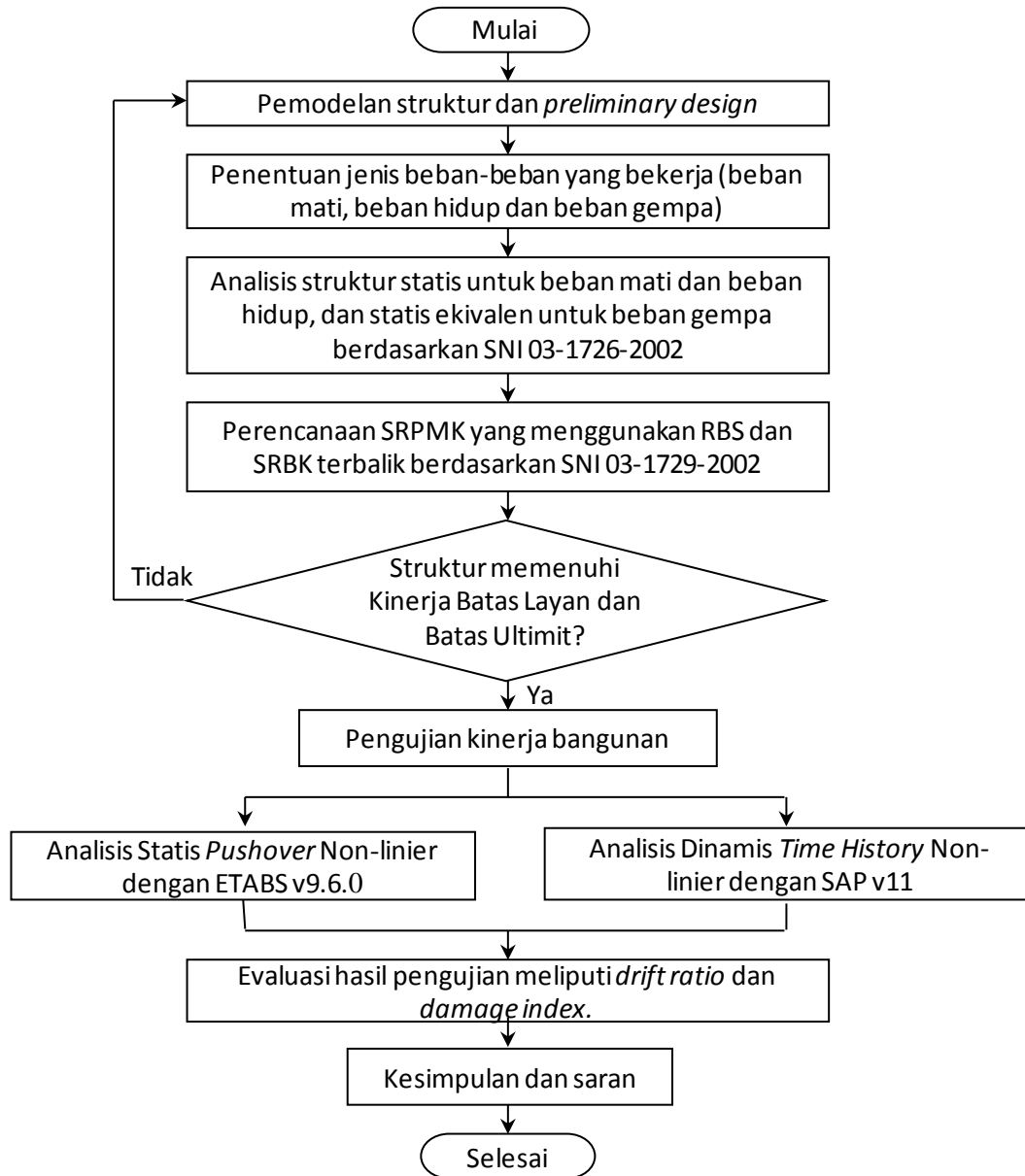
		Earth Quake Performance Level			
		Immediate Occupancy	Life Safety	Structural Stability	
Earth Quake Design Level	Minor 100 th	○	+	+	+ = unacceptable
	Moderate 500 th	□	○	+	
	Severe 1000 th	*	□	○	
		DI 0,1 - 0,333 Drift 0,5%	DI 0,333 - 0,5 Drift 1,5%	DI 0,5 - 1 Drift 2,5%	

Gambar 6 Matriks Kinerja Struktur untuk Berbagai Tingkat Intensitas Gempa Versi FEMA 350 (SAC, 2000) dan Vision 2000 (SEAOC, 1995).

## 7. METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti ditunjukkan pada pada Gambar 7. Penelitian ini diawali dengan pembuatan model struktur secara 3D menggunakan program ETABS v9.6.0 dan SAP 2000 v11.00. Struktur menerima beban gravitasi yang berasal dari beban mati (berat sendiri struktur) dan beban hidup, dan beban gempa yang dimodelkan sebagai beban dinamis menggunakan respon spektrum.

Setelah gaya-gaya dalam diperoleh, selanjutnya dilakukan prosedur desain sistem ganda SRPMK dan SRBE dengan balok RBS. Kapasitas deformasi elemen balok dan kolom ditentukan berdasarkan hubungan antara momen dan kurvatur didapatkan dengan bantuan program XTRACT. Kemudian dilakukan analisis statis *pushover* dan riwayat waktu untuk menentukan kinerja struktur. Kinerja struktur diukur menggunakan parameter *drift* dan *damage index*.



**Gambar 7 Diagram Alir Metodologi Penelitian**

## 8. HASIL PENELITIAN

Dimensi balok dan kolom pada bangunan 6- dan 10-lantai di wilayah 2 peta gempa Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1. Syarat-syarat yang mempengaruhi pemilihan ukuran profil adalah syarat kekompakan, kapasitas, kinerja batas layan, kinerja batas ultimit, dan *strong column weak beam*. Syarat yang lebih dominan dalam penentuan profil untuk bangunan 6- dan 10-lantai adalah syarat kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.

Menurut Tabel 3 SNI 03-1726-2002, sistem ganda pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen (SRPM), rangka pemikul

momen harus direncanakan secara terpisah dan mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral. Dalam proses desain, untuk mendapatkan distribusi beban lateral sesuai dengan peraturan tersebut sangat sulit. Saat SRPM diusahakan untuk menerima 25% beban lateral, maka kekakuan bresing harus dikurangi. Hal ini menyebabkan *drift* struktur melampaui kinerja batas layan serta kinerja batas ultimit. Bila SRPM didesain dengan 25% distribusi beban lateral, maka pada desain kapasitas, profil balok arah-y yang dihasilkan menjadi lebih besar sehingga sistem ganda ini tidak efisien, karena kebutuhan kapasitas kolom yang diperlukan dalam arah-y menjadi besar. Sebagai akibatnya, dimensi kolom yang diperlukan menjadi sangat besar dan tidak realistis. Persyaratan *strong column weak beam* dalam arah-y tidak bisa terpenuhi. Dengan alasan-alasan tersebut di atas, maka penelitian ini mengabaikan persyaratan ini dan melakukan desain berdasarkan gaya-gaya dalam aktual yang terjadi pada portal.

**Tabel 1 Dimensi Balok**

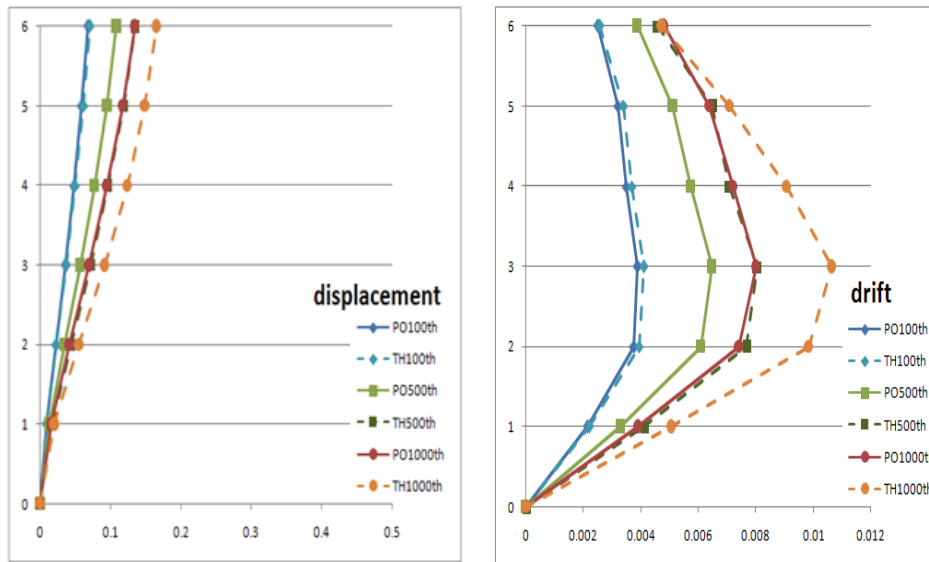
Lantai	Balok Induk		Balok Anak	Bresing
	Eksterior	Interior		
Bangunan 6-lantai				
1	400x200x8x13	400x200x8x13	250x125x6x9	588x300x12x20
2				488x300x11x18
3				
4				
5	350x175x7x11	350x175x7x11		506x201x11x19
6				
Bangunan 10-lantai				
1	300x150x6,5x9	350x175x7x11	250x125x6x9	700x300x13x24
2				
3				
4				
5				582x300x12x17
6				
7				500x200x10x16
8				
9				400x200x8x13
10				

**Tabel 2 Dimensi Kolom**

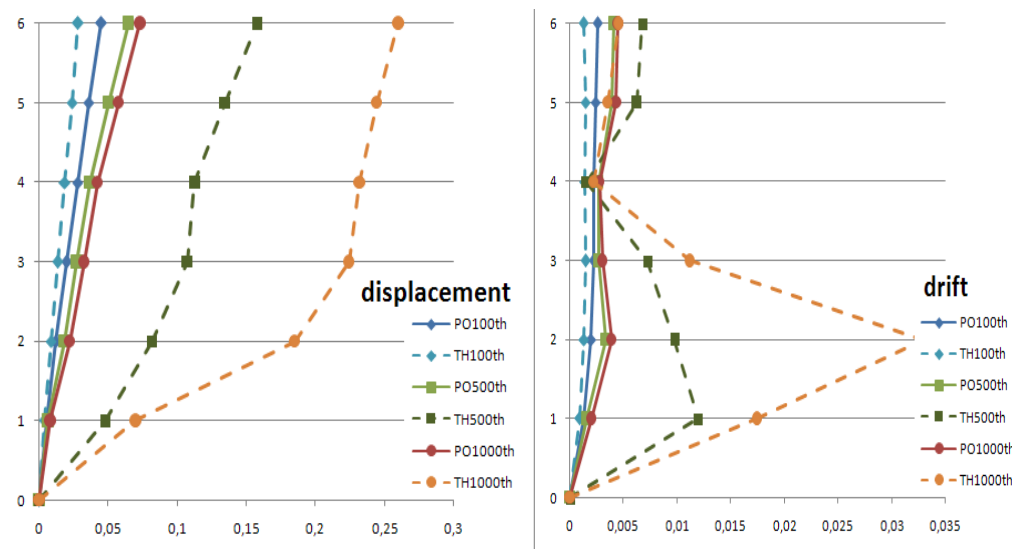
Lantai	Interior	Eksterior	Sudut
Bangunan 6-lantai			
1	588x300x12x20	88x300x12x20	500x200x10x16
2		488x300x11x18	
3			
4		506x201x11x19	
5	488x300x11x18		
6	506x201x11x19		
Bangunan 10-lantai			
1	900x300x16x28	588x300x12x20	582x300x12x17
2	800x300x14x26		
3			
4	700x300x13x24	582x300x12x17	482x300x11x15
5			
6	588x300x12x20	500x200x10x16	400x200x8x13
7			
8	596x199x10x15	400x200x8x13	
9			
10			



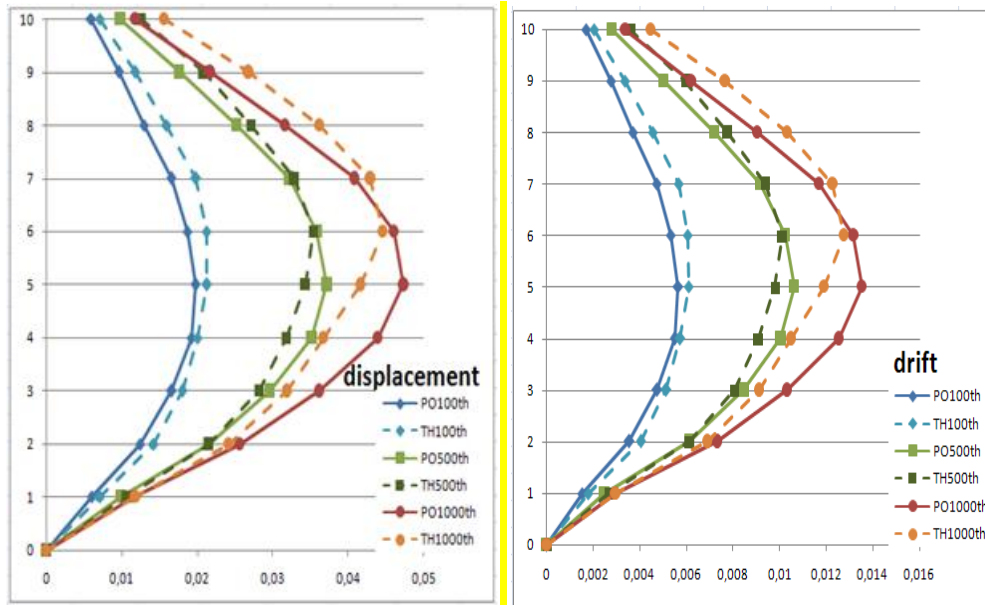
Perpindahan lantai (*displacement*) dan simpangan antar tingkat (*drift*) yang dihasilkan analisis *pushover* (PO) dan *time history* (TH) untuk berbagai periode ulang gempa dari kedua bangunan yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 8 – 11. Kinerja struktur berdasarkan kriteria *drift* yang diukur menurut standar Vision 2000 (1999) disajikan dalam Tabel 3 dan 4 untuk bangunan 6- dan 10-lantai.



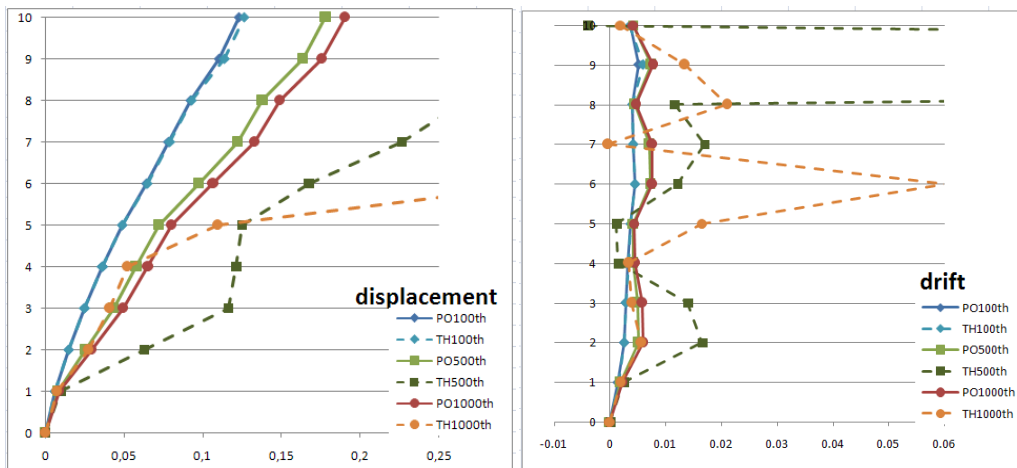
Gambar 8 *Displacement dan Drift Arah-X* Bangunan 6-lantai



Gambar 9 *Displacement dan Drift Arah-Y* Bangunan 6-lantai



**Gambar 10 Displacement dan Drift Arah-X Bangunan 10-lantai**



**Gambar 11 Displacement dan Drift Arah-Y Bangunan 10-lantai**

Dari grafik di atas terlihat bangunan 10-lantai pada beban gempa 500- dan 1000-tahun arah-y (Gambar 11) memiliki nilai *displacement* yang besar sehingga memberikan perbedaan yang cukup signifikan dibandingkan grafik lainnya. Hal tersebut dikarenakan terjadinya *soft story* pada lantai ke-9 baik pada portal eksterior maupun portal interior

**Tabel 3 Kinerja Bangunan 6-Lantai Berdasarkan *Drift Ratio***

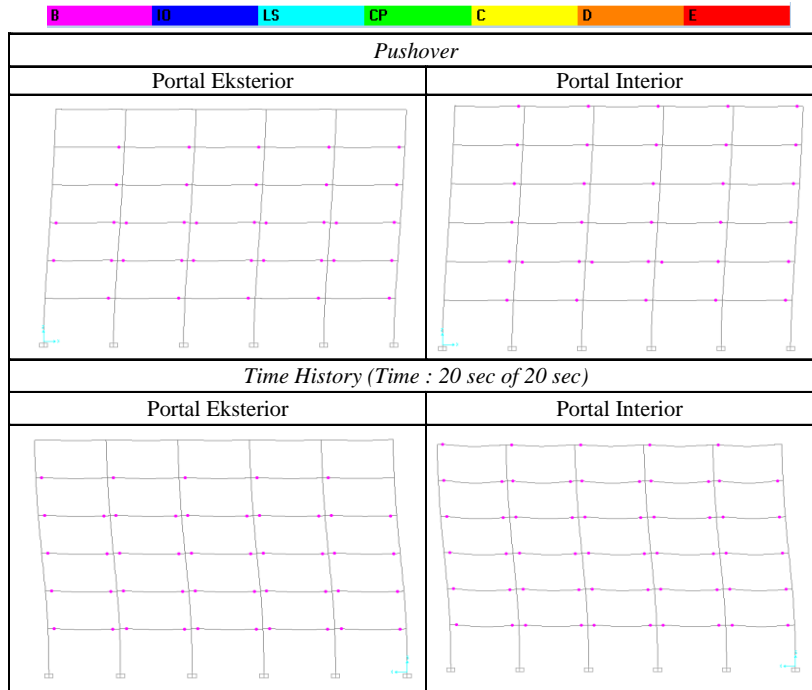
Periode Ulang Gempa	Arah	<i>PerformanceLevel</i>							
		<i>Immediate Occupancy</i>		<i>Life Safety</i>		<i>Structural Stability</i>		<i>Unacceptable</i>	
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH
100 tahun	x	0,004	0,004						
	y	0,003	0,001						
500 tahun	x	0,006	0,008						
	y	0,004	0,012						
1000 tahun	x	0,008	0,011						
	y	0,004							0,033*
<i>Drift Ratio maximum (%)</i>		<0,5		0,5-1,5		1,5-2,5		> 2,5	
		Standar <i>Vision 2000</i>							
		* Analisis terhenti sebelum detik ke-20							

**Tabel 4 Kinerja Bangunan 10-Lantai Berdasarkan *Drift Ratio***

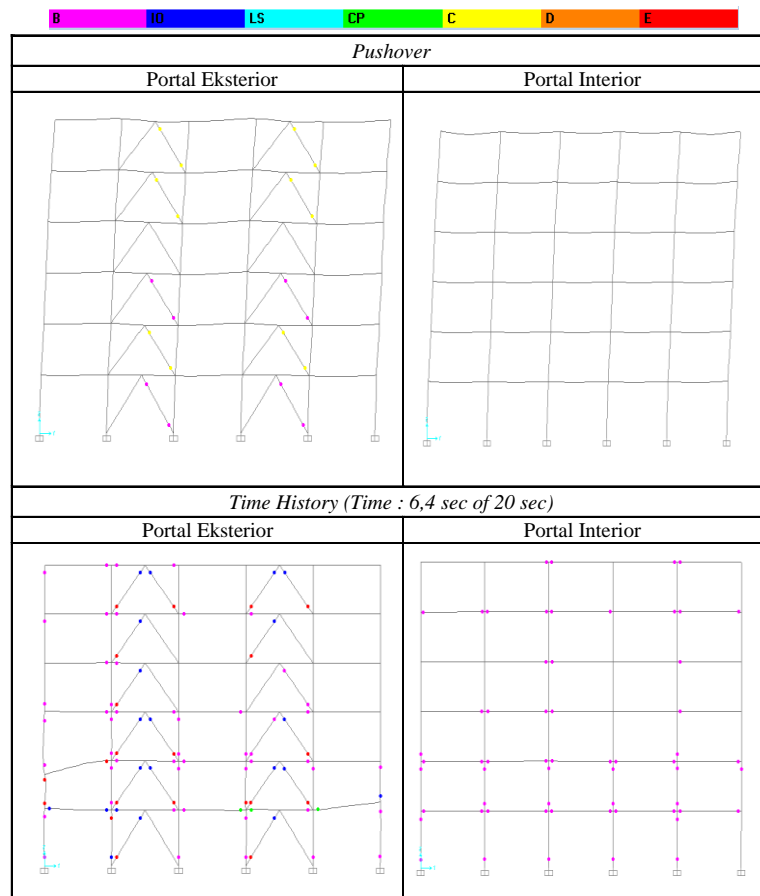
Periode Ulang Gempa	Arah	<i>PerformanceLevel</i>							
		<i>Immediate Occupancy</i>		<i>Life Safety</i>		<i>Structural Stability</i>		<i>Unacceptable</i>	
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH
100 tahun	x	0,006	0,006						
	y	0,005	0,006						
500 tahun	x	0,011	0,010						
	y	0,007							0,630*
1000 tahun	x	0,014	0,013						
	y	0,008							0,060*
<i>Drift Ratio maximum (%)</i>		<0,5		0,5-1,5		1,5-2,5		> 2,5	
		standar <i>Vision 2000</i>							
		* Analisis terhenti sebelum detik ke-20							

Berdasarkan kriteria *drift* menurut *Vision 2000* terlihat bahwa SRPMK (arah-x) memberikan kinerja yang sangat baik untuk semua level gempa bahkan hingga gempa besar dengan periode ulang 1000 tahun. Sebaliknya SRBK (arah-y) menunjukkan kinerja yang kurang baik. Pada bangunan 6-lantai, SRBK masih bisa bertahan hingga gempa target 500 tahun, sedangkan pada bangunan 10-lantai, SRBK tidak mampu melalut gempa target 500 tahun akibat adanya tingkat lunak di lantai 9.

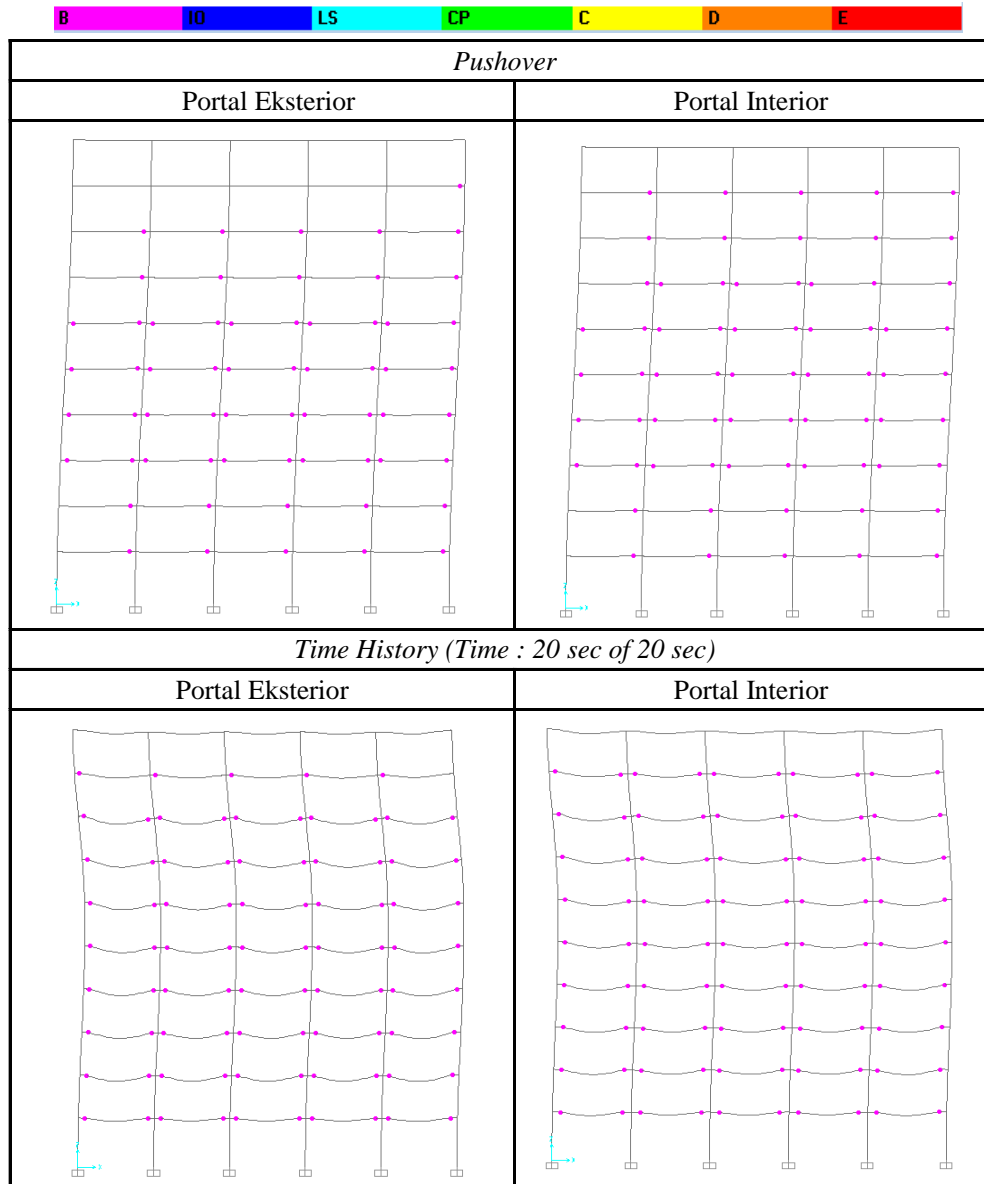
Berdasarkan pengamatan terhadap lokasi sendi plastis yang terbentuk, temuan di atas menjadi lebih diperjelas. Gambar 12 dan 14 menunjukkan lokasi sendi plastis pada SRPMK bangunan 6- dan 10-lantai yang mampu bertahan hingga gempa besar 1000 tahun. Gambar 13 menunjukkan lokasi sendi plastis pada SRBK bangunan 6-lantai yang mampu bertahan hingga gempa target 500 tahun dan mengalami keruntuhan pada gempa 1000. Sedangkan Gambar 15 menunjukkan lokasi sendi plastis pada SRBK bangunan 10-lantai yang tidak mampu bertahan pada gempa rencana 500 tahun.



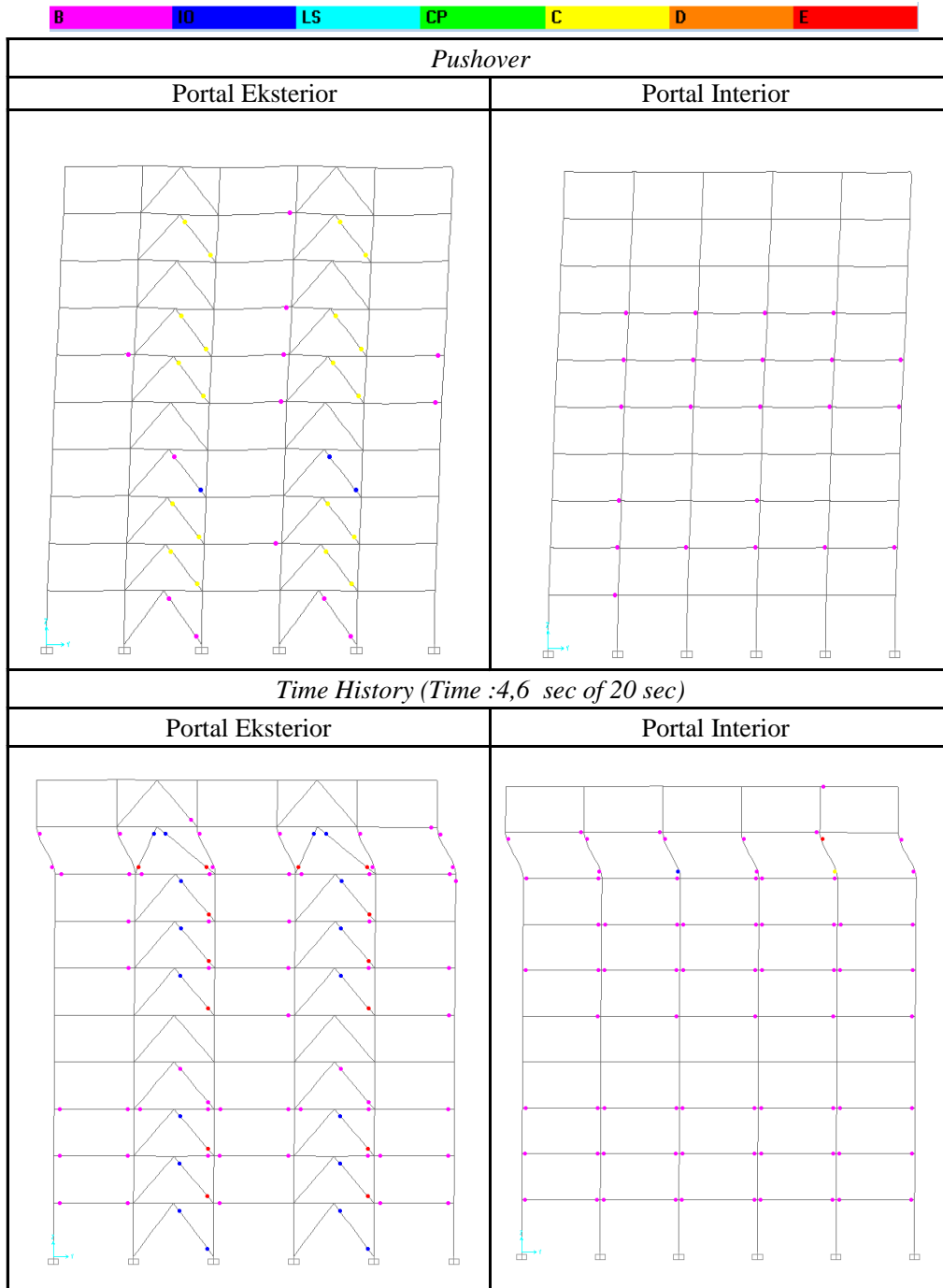
Gambar 12 Sendi Plastis pada SRPMK Bangunan 6-Lantai (Arah-x), Gempa 1000 Tahun



Gambar 13 Sendi Plastis pada SRBK Bangunan 6-Lantai (Arah-y), Gempa 1000 Tahun



**Gambar 14** Sendi Plastis pada SRPMK Bangunan 10-Lt (Arah-x), Gempa 1000 Tahun



**Gambar 15 Sendi Plastis pada SRBK Bangunan 10-Lantai (Arah-y), Gempa 500 Tahun**

Berdasarkan peninjauan terhadap lokasi sendi plastis ini, dapat dilihat bahwa SRPMK (arah-x) menunjukkan mekanisme keruntuhan yang aman, yaitu *strong column weak beam*. Akan tetapi SRBK dalam arah-y menunjukkan mekanisme yang kurang baik. Pelelehan diawali pada bresing dan dilanjutkan pada balok dan kolom. Pelelehan bresing tidak bersifat daktail karena segera diikuti dengan pelelehan balok dan kolom yang ada di dekatnya. Sebagai akibatnya, struktur mengalami keruntuhan.

Kinerja struktur juga diukur berdasarkan *damage index* yang terjadi pada komponen-komponen struktur. *Damage index* diukur berdasarkan rasio rotasi sendi plastis terhadap rotasi leleh komponen yang ditinjau. Hasil peninjauan terhadap *damage index* menurut standar FEMA 350 disajikan dalam Tabel 5 – 12.

**Tabel 5 Kinerja Bangunan 6-Lantai Berdasarkan *Damage Index* Balok**

Periode Ulang Gempa	Arah	PerformanceLevel										
		First Yield		Immediate Occupancy		Life Safety		Structural Stability		Unacceptable		
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	
100 tahun	x	✓										
	y											
500 tahun	x	✓	✓									
	y		✓									
1000 tahun	x	✓	✓									
	y								✓			
<i>Max Damage Index (%)</i>		< 0,10		0,10-0,33		0,33-0,50		0,50-1,00		> 1,00		
Standar FEMA-350												

**Tabel 6 Kinerja Bangunan 10-Lantai Berdasarkan *Damage Index* Balok**

Periode Ulang Gempa	Arah	PerformanceLevel										
		First Yield		Immediate Occupancy		Life Safety		Structural Stability		Unacceptable		
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	
100 tahun	x	✓	✓									
	y	✓	✓									
500 tahun	x	✓	✓									
	y	✓	✓									
1000 tahun	x	✓	✓									
	y	✓	✓									
<i>Max Damage Index (%)</i>		< 0,10		0,10-0,33		0,33-0,50		0,50-1,00		> 1,00		
Standar FEMA-350												

**Tabel 7 Kinerja Bangunan 6-Lantai Berdasarkan *Damage Index* Kolom**

Periode Ulang Gempa	Arah	PerformanceLevel										
		First Yield		Immediate Occupancy		Life Safety		Structural Stability		Unacceptable		
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	
100 tahun	x											
	y											
500 tahun	x											
	y		✓									
1000 tahun	x				✓							
	y											
<i>Max Damage Index (%)</i>		< 0,10		0,10-0,33		0,33-0,50		0,50-1,00		> 1,00		
Standar FEMA-350												

**Tabel 8 Kinerja Bangunan 10-Lantai Berdasarkan *Damage Index* Kolom**

Periode Ulang Gempa	Arah	PerformanceLevel									
		First Yield		Immediate Occupancy		Life Safety		Structural Stability		Unacceptable	
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH
100 tahun	x										
	y										
500 tahun	x										
	y				✓						
1000 tahun	x										
	y			✓	✓						
<i>Max Damage Index (%)</i>		< 0,10		0,10-0,33		0,33-0,50		0,50-1,00		> 1,00	
		Standar FEMA-350									

**Tabel 9 Kinerja Bangunan 6-Lantai Berdasarkan *Damage Index* Bresing**

Periode Ulang Gempa	Arah	PerformanceLevel									
		First Yield		Immediate Occupancy		Life Safety		Structural Stability		Unacceptable	
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH
100 tahun	y			✓							
500 tahun	y									✓	✓
1000 tahun	y									✓	✓
<i>Max Damage Index (%)</i>		< 0,10		0,10-0,33		0,33-0,50		0,50-1,00		> 1,00	
		Standar FEMA-350									

**Tabel 10 Kinerja Bangunan 10-Lantai Berdasarkan *Damage Index* Bresing**

Periode Ulang Gempa	Arah	PerformanceLevel									
		First Yield		Immediate Occupancy		Life Safety		Structural Stability		Unacceptable	
		PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH	PO	TH
100 tahun	y			✓							✓
500 tahun	y									✓	✓
1000 tahun	y									✓	✓
<i>Max Damage Index (%)</i>		< 0,10		0,10-0,33		0,33-0,50		0,50-1,00		> 1,00	
		Standar FEMA-350									



Perbandingan penggunaan profil pada penelitian ini terhadap berbagai penelitian mengenai SRPMK yang menggunakan RBS ditunjukkan pada Tabel 11 di bawah ini. Terlihat bahwa penggunaan profil pada penelitian ini relatif sama atau bahkan lebih kecil dibandingkan penelitian SRPMK dengan RBS dalam 2 arah orthogonal sebelumnya (Hermawan dan Darmawan, 2010). Sayangnya kinerja struktur dalam penelitian ini pada umumnya lebih buruk dibandingkan penelitian Hermawan dan Darmawan (2010).

**Tabel 11 Perbandingan Berat Profil Bangunan**

Jumlah Tingkat	SRPMK Tanpa RBS (kg/m <sup>2</sup> )	SRPMK Dengan RBS 1arah (kg/m <sup>2</sup> )	SRPMK Dengan RBS 2 arah (kg/m <sup>2</sup> )	SRPMK Dengan RBS 2 arah + SRBK (kg/m <sup>2</sup> )
4	46,837	44,090		
6			49,978	50,785
8	49,782	46,483		
10			53,446	47,89
12	54,049	43,696		

## 9. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan evaluasi kinerja Sistem Ganda Rangka Penahan Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Bresing Kosentris (SRBK) 6- dan 10-lantai dengan balok RBS pada kedua sumbu orthogonalnya di daerah gempa 2 Indonesia, dapat ditarik kesimpulan:

1. SRPMK menunjukkan kinerja struktur yang sangat baik. Mekanisme *strong column weak beam* terjamin dengan dipakainya RBS dalam sistem ini. Sebaliknya, SRBK gagal menghasilkan kinerja yang baik akibat perilaku non-daktail saat terjadinya pelelehan bresing.
2. Desain dimensi komponen lebih ditentukan oleh persyaratan kinerja batas layan dan ultimit daripada persyaratan kekuatan penampang.
3. Persyaratan desain ketahanan gempa untuk sistem ganda yang mensyaratkan SRPMK sekurang-kurangnya mampu menahan gaya geser dasar sebesar 25% gaya geser total tidak dapat dipenuhi. Oleh sebab itu dianjurkan agar persyaratan ini dalam SNI 03-1726-2002 ditinjau kembali.
4. Secara umum penelitian ini tidak merekomendasikan penggunaan sistem ganda SRPMK dan SRBK sebagai sistem penahan gempa akibat sulitnya proses *preliminary design* untuk menemukan konfigurasi dimensi komponen struktur dan keruntuhan non-daktail akibat pelelehan bresing.

Penelitian ini menyarankan agar SNI 03-1726-2002 memasukkan persyaratan mengenai RBS karena menghasilkan kinerja struktur yang sangat baik terutama untuk menjamin terjadinya mekanisme *strong column weak beam*.

## 10. DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction (2005). *Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic application, AISC 358-05*. American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago:Author.
- American Society of Civil Engineering (1971). *Plastic design in steel*, California : American Society of Civil Engineering Inc.
- Applied Technology Council 40. (1997). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. California.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung, SNI 03-1726-2002*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung, SNI 03-1729-2002*.
- CSI. (2005). *CSI analysis reference manual*. California: Computers and Structures, Inc.
- Darmawan, A. dan Hermawan, P. (2010). *Evaluasi kinerja sistem rangka pemikul momen khusus baja (SRPMK) yang menggunakan reduced beam section (RBS) pada kedua arah ortogonal bangunan di wilayah 2 dan 6 peta gempa Indonesia (Tugas Akhir Strata 1 no 11011755/SIP/2011)*. Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung 1983*. Bandung.
- Imbsen and Associates INC, and Chadwell, C. (2004). *Cross section analysis program XTRACT Version 3.0.3*, Sacramento, CA.
- Leger, P., Paultre, P., Nuggihalli, R. (1991). Elastic analysis of frames considering panel zones deformations. *Computers & Structures*. 39 689-697.
- Limongan, J. dan Leonanta, Y.S. (2010). *Evaluasi kinerja sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) baja yang menggunakan reduce beam section di wilayah 2 peta gempa Indonesia (Tugas Akhir Strata 1 no 11011719/SIP/2010)*. Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Lumantarna, B. dan Lukito, M. (1997). *Resmat, Sebuah program interaktif untuk menghasilkan riwayat waktu gempa dengan spektrum tertentu*. Proc HAKI Confrence 1997, Jakarta, Indonesia, pp. 128-135.
- Muljati, I. dan Lumantarna, B. (2005). *Seismic performance evaluation of building with pushover analysis*. Material, Desain dan Rekayasa Konstruksi pada Bangunan Tahan Gempa. Malang, Juni, 2007
- SAC Joint Venture (2000). *FEMA-350 Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings*. California : Federal Emergency Management Agency.
- SAC Joint Venture (2000). *FEMA-356 Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings*. California : Federal Emergency Management Agency.
- Setiawan, I. dan Stewart, A. (2008). *Evaluasi kinerja struktur baja dengan sistem rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK) yang didesain berdasarkan SNI 03-1729-*

2002 di wilayah 6 peta gempa Indonesia (Tugas Akhir Strata 1 no 11011597/SIP/2008). Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Structural Engineers Association of California (1995). *VISION 2000 progress report*. California.

Susila, I.G.M. (2000). *Seismic microzonation and site spesific respons analysis for Denpasar*, Tugas Akhir. Bandung: Geotechnical Engineering of Graduate Program, Institute of Technology.

Wiyono, S.K. dan Yuwono, E. (2008). *Evaluasi kinerja struktur baja dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang didesain berdasarkan SNI 03-1729-2002 di wilayah 6 peta gempa Indonesia* (Tugas Akhir no 11011591/SIP/2008). Unpublished undergraduate thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.