

PERENCANAAN STRUKTUR BAJA BERDASARKAN KEKAKUAN DAN KEKUATAN SISTEM GANDA SRPMK DAN SRBKK BERBENTUK *MULTISTORY X* MENURUT SNI 1726:2012 PASAL 7.2.5.1

Satyakalam Arif Wicaksana¹, Yohanes Victor Hongkiriwang², Hasan Santoso³ dan Pamuda Pudjisuryadi⁴

ABSTRAK: Untuk sistem ganda, SNI 1726.2012 pasal 7.2.5.1 mengatakan bahwa sistem rangka pemikul momen harus mampu menahan 25 % dari gaya lateral terhadap proporsi kekakuannya. Penelitian ini dilakukan untuk meninjau performa bangunan dengan sistem ganda manakah yang lebih baik dari bangunan yang didesain dengan SRPMK menerima gaya lateral 25 % yang dilihat dari *base shear* yang terjadi (skenario 1) dan bangunan yang didesain dengan SRPMK menerima gaya lateral kurang dari 25 % (skenario 2). Sistem ganda yang digunakan adalah sistem SRPMK dan SRBKK berbentuk *multistory X* yang direncanakan dengan respon spektrum Jayapura dan berdasarkan SNI 1726:2012. Pada penelitian kali ini, peneliti mendesain setiap bangunan memiliki kekakuan yang sama antar bangunan lainnya. Beberapa jenis bangunan yang didesain dengan skenario 2 belum pada tahap yang paling efisien, sehingga performa bangunan skenario 1 dan skenario 2 tidak jauh berbeda. Dimana bangunan skenario 2 memiliki performa yang sedikit lebih baik dari bangunan skenario 1.

KATA KUNCI: gempa, sistem ganda, SRPMK, SRBKK, *multistory X*, 25 %.

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu negara yang termasuk daerah *Ring of Fire*, Indonesia sering mengalami bencana alam berupa gempa bumi. Oleh karena itu, merupakan sebuah keharusan merencanakan sebuah bangunan sebagai sebuah struktur yang tahan gempa. SNI 1726:2012 adalah pedoman dan tata cara perencanaan tahan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung. Terdapat berbagai macam sistem struktur tahan gempa yang dapat digunakan. Sistem tersebut terdiri dari sistem tunggal dan sistem ganda. Untuk sistem ganda, SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1 mensyaratkan rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa desain, baik sistem rangka pemikul momen dengan rangka bresing maupun sistem rangka dengan dinding geser (Departemen pekerjaan umum, 2015). Pada penelitian sebelumnya, Jaya dan Winar (2016) meninjau bahwa di dalam ASCE 2010 pasal 12.2.5.1 yang adalah referensi dari SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1, mengatakan hal yang sama, yaitu berisi sebagai berikut “*For a dual system, the moment frames shall be capable of resisting at least 25 percent of the design seismic forces. The total seismic force resistance is to be provided by the combination of the moment frames and the shear walls or braced frames in proportion to their rigidities*” (ASCE, 2010, sc. 12.2.5.1). Dan kemudian dilakukan peninjauan terhadap FEMA 451 dan FEMA 356, dimana pada FEMA 451 dikatakan bahwa syarat 25% gaya lateral diterima oleh kekuatan dari sistem rangka (*SAC joint venture*, 2006) dan pada FEMA 356 dikatakan bahwa syarat 25% gaya lateral diterima oleh proporsi kekakuan sistem rangka (*SAC joint Venture*, 2006). Meninjau pernyataan FEMA 356 dan FEMA 451 membuat Jaya dan Winar (2016) melakukan 2 skenario pendekatan dalam penelitian ini untuk menyimpulkan

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, satya.kalama95@gmail.com.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, victorhongkiriwang@gmail.com..

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, hasan@petra.ac.id.

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, pamuda@petra.ac.id.

skenario manakah yang menghasilkan perilaku bangunan yang lebih baik. Skenario 1 (S1) adalah skenario desain bangunan dengan distribusi *base shear* harus mencapai 25% dari *total base shear* dan diterima oleh proporsi kekakuan sistem rangka. Skenario 2 (S2) adalah skenario dimana 25% gaya lateral diterima oleh kekuatan dari sistem rangka. Desain bangunan skenario 2 (S2) dengan mengalikan gaya gempa yang terjadi dengan *scale factor*.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Ganda

Penelitian ini adalah penelitian yang berdasar pada SNI 1726:2012 khususnya pada pasal 7.2.5.1 yang ditujukan bagi desain bangunan sistem ganda (Departemen pekerjaan umum, 2015). Dimana dalam merencanakan sebuah struktur bangunan dengan sistem ganda, pasal 7.2.5.1 harus dipenuhi. Di mana *base shear* yang diterima oleh kelompok SRPMK harus minimal 25 persen dari total keseluruhan *base shear* yang terjadi.

2.2. Sistem Rangka Penahan Momen Khusus (SRPMK)

Perencanaan kapasitas baja dari penelitian ini berdasar pada SNI 1729-2015 dan setiap ketentuan seismik yang berlaku distruktur ini direncanakan sesuai dengan AISC 341-10. Setiap elemen struktur baja didesain terhadap tekan, geser dan lentur yang sesuai dengan SNI 1729-2015. Sedangkan untuk setiap SRPMK dan SRBKK yang berhubungan dengan beban gempa, di desain terhadap AISC 341-10.

2.3. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK)

Sistem rangka bresing konsentrik merupakan salah satu sistem penahan gempa yang ada dalam SNI 1726-2012. Sistem ini terdiri dari elemen-elemen balok, bresing dan kolom. Kekakuan dari sistem struktur ini terletak pada elemen pengaku (bresing) yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral pada struktur. Elemen bresing sendiri direncanakan untuk leleh terlebih dahulu, sehingga meminimalkan kerusakan pada elemen struktur lainnya. Bresing SRBKK didesain berdasarkan AISC 341-10 pada pasal F2 dimana kekuatan Tarik yang didesain adalah $R_y F_y A_g$, sedangkan kekuatan bresing tekan yang didesain diambil hasil yang terkecil dari $R_y F_y A_g$ dan $1.14 F_c A_g$ (*American Institute of Steel Construction*, 2010).

2.4. Performance Based Design (PBD)

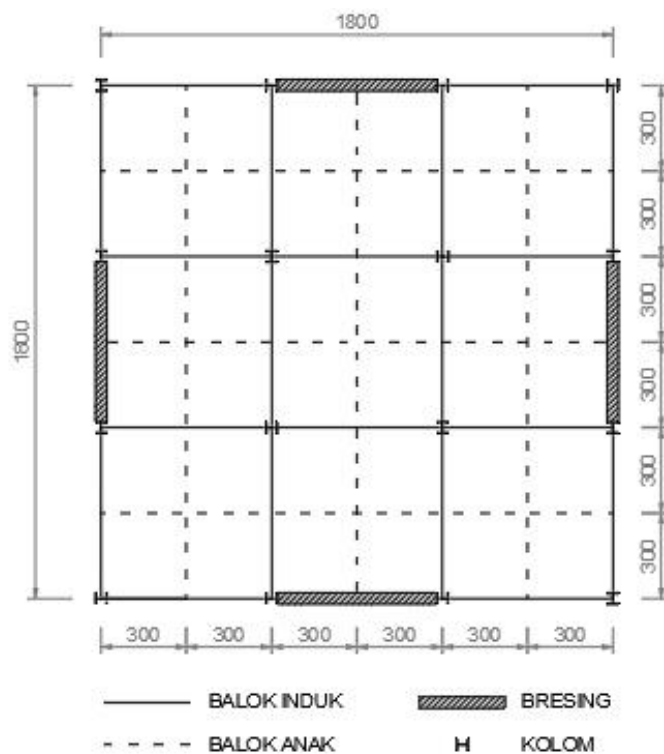
Perencanaan gempa berbasis kinerja (*performance based design*) merupakan proses perencanaan yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan bangunan lama. Perencanaan ini berdasar dengan pemahaman terhadap resiko keselamatan (*life safety*), kesiapan pakai (*occupancy*), dan kerugian harta benda yang mungkin akan terjadi akibat gempa yang akan datang (Dewobroto, 2005).

3. METODOLOGI PENELITIAN

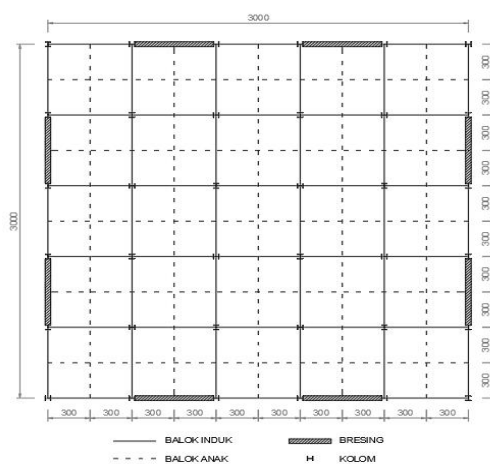
Penelitian ini dimulai dengan melakukan penamaan kode bangunan. Penamaan kode bangunan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan

Kode	Makna
31J12	Bangunan 3 bentang, 1 SRBKK, lokasi gempa di Jayapura, 12 lantai
52J12	Bangunan 5 bentang, 1 SRBKK, lokasi gempa di Jayapura, 12 lantai
52J20	Bangunan 5 bentang, 1 SRBKK, lokasi gempa di Jayapura, 20 lantai
S1	Skenario 1
S2	Skenario 2



Gambar 1. Denah Bangunan 31J12



Gambar 2. Denah Bangunan 52J12 dan 52J20

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 2 skenario. Jadi langkah-langkah yang dilakukanpun dibagi dalam 2 skenario yang ada, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian skenario 1 akan dimulai dengan *preliminary design* dan dilanjutkan dengan permodelan struktur 3 dimensi menggunakan Program CSI SAP2000 v18 2.0. Setelah permodelan struktur selesai, penelitian akan dilanjutkan dengan menentukan pembebanan struktur, baik beban mati, beban hidup, serta beban gempa. Setelah pembebanan selesai, penelitian akan dilanjutkan kembali dengan melakukan pengecekan terhadap *base shear*. Bila presentase *base shear* yang terjadi pada SRPMK kurang dari 25%, maka akan dilakukan *preliminary design* kembali sehingga syarat 25% terpenuhi. Apabila syarat tersebut sudah terpenuhi, maka akan dilaksanakan *capacity design*. Setelah itu akan dilanjutkan dengan pemeriksaan *drift* bangunan dan performa bangunan dengan menggunakan *nonlinear time history analysis*.
2. Penelitian skenario 2 akan dimulai dengan melakukan *preliminary design* dan dilanjutkan dengan permodelan SAP2000 v18 2.0. lalu dilanjutkan dengan menentukan beban-beban yang terjadi. Setelah selesai, dilakukan pengecekan *base shear* pada *joint reactions*. Apabila persentase *base shear* yang terjadi pada SRPMK kurang dari 25% maka gaya gempa akan dikalikan dengan faktor seperti pada persamaan 1.1. Setelah syarat terpenuhi, dilakukan *capacity design* sesuai dengan yang dilakukan pada skenario 1 dan dilanjutkan dengan pemeriksaan *drift* bangunan dan performa bangunan dengan menggunakan *nonlinear time history analysis*.

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1. Dimensi Profil

Dimensi profil yang digunakan sudah memenuhi *capacity design* baik dalam perencanaan SRPMK maupun dalam perencanaan SRBKK berdasarkan SNI 1729:2015 (Badan Standarisasi Nasional, 2015). Setiap bangunan yang ada telah dibagi dalam 2 skenario, dimana skenario 2 terdapat *scale factor* yang diperhitungkan. Ukuran-ukuran penampang dapat dilihat pada **Tabel 2** s.d **Tabel 4**.

Tabel 2. Profil Bangunan 3-1-12

BANGUNAN 3-1-12									
S1			S2						
Bracing	1 s/d 6	H - 250.250.9.14		Bracing	1 s/d 6	H - 250.250.9.14			
	7 s/d 12	H - 208.202.10.16			7 s/d 12	H - 208.202.10.16			
Balok Anak		WF - 298.201.9.14							
Balok Induk	1 s/d 6	EXT	WF - 450.200.9.14		Balok Induk	1 s/d 6	EXT	WF - 450.200.9.14	
		INT	WF - 600.200.14.28				INT	WF - 600.200.12.19	
	7 s/d 12	EXT	WF - 400.200.8.13			7 s/d 12	EXT	WF - 400.200.8.13	
		INT	WF - 500.200.10.16				INT	WF - 450.200.9.14	
Kolom	1 s/d 6	EXT	H - 458.417.30.50		Kolom	1 s/d 6	EXT	H - 458.417.30.50	
		INT	H - 612.490.40.80				INT	H - 498.432.45.70	
	7 s/d 12	EXT	H - 353.333.35.40			7 s/d 12	EXT	H - 353.333.35.40	
		INT	H - 498.432.45.70				INT	H - 428.407.20.35	
Plat		Beton 120mm							

Tabel 3. Profil Bangunan 5-2-12

BANGUNAN 5-2-12									
S1			S2						
Bracing	1 s/d 6	H - 250.250.9.14		Bracing	1 s/d 6	H - 250.250.9.14			
	7 s/d 12	H - 250.250.9.14			7 s/d 12	H - 250.250.9.14			
Balok Anak		WF - 298.201.9.14							
Balok Induk	1 s/d 6	EXT	WF - 600.200.14.19		Balok Induk	1 s/d 6	EXT	WF - 600.200.14.19	
		INT	WF - 500.200.10.16				INT	WF - 500.200.10.16	
	7 s/d 12	EXT	WF - 500.200.10.16			7 s/d 12	EXT	WF - 500.200.10.16	
		INT	WF - 450.200.9.14				INT	WF - 450.200.9.14	
Kolom	1 s/d 6	EXT	H - 498.432.45.70		Kolom	1 s/d 6	EXT	H - 498.432.45.70	
		INT	H - 428.407.20.35				INT	H - 458.417.30.50	
	7 s/d 12	EXT	H - 428.407.20.35			7 s/d 12	EXT	H - 428.407.20.35	
		INT	H - 428.407.20.35				INT	H - 428.407.20.35	
Plat		Beton 120mm							

Tabel 4. Profil Bangunan 5-2-20

BANGUNAN 5-2-20							
S1				S2			
Bracing	1 s/d 5	H - 304.301.11.17		Bracing	1 s/d 5	H - 304.301.11.17	
	6 s/d 10	H - 304.301.11.17			6 s/d 10	H - 304.301.11.17	
	11 s/d 15	H - 304.301.11.17			11 s/d 15	H - 304.301.11.17	
	16 s/d 20	H - 208.202.10.16			16 s/d 20	H - 208.202.10.16	
Balok Anak		WF - 298.201.9.14		Balok Anak		WF - 298.201.9.14	
Balok Induk	1 s/d 10	EXT	WF - 650.300.14.28	Balok Induk	1 s/d 10	EXT	WF - 650.300.14.28
		INT	WF - 600.200.14.28			INT	WF - 500.200.10.16
	11 s/d 20	EXT	WF - 600.200.14.28		11 s/d 20	EXT	WF - 600.200.14.28
		INT	WF - 500.200.10.16			INT	WF - 450.200.9.14
Kolom	1 s/d 10	EXT	H - 518.437.50.80	Kolom	1 s/d 10	EXT	H - 770.520.70.80
		INT	H - 518.437.50.80			INT	H - 592.520.70.70
	11 s/d 20	EXT	H - 428.427.20.35		11 s/d 20	EXT	H - 428.427.20.35
		INT	H - 498.432.45.70			INT	H - 428.427.20.35
Plat	Beton 120mm					Plat	Beton 120mm

4.2. Distribusi Gaya

Hasil Distribusi Gaya lateral dan *scale factor* S2 dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Presentase Gaya lateral dan Scale Factor

BANGUNAN	SKENARIO	PRESENTASE GAYA LATERAL		SCALE FACTOR
		SRPMK	SRBKK	
3-1-12	S1	26,42%	73,58%	
	S2	20,18%	79,82%	1,24
5-2-12	S1	26,62%	73,38%	
	S2	21,74%	78,26%	1,15
5-2-20	S1	26,64%	73,36%	
	S2	21,81%	78,19%	1,15

4.3. Berat Struktur Bangunan

Berat Struktur bangunan yang ada sesuai dengan hasil dari profil *capacity design* yang terpakai. Berat struktur yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Berat Struktur Yang digunakan

BANGUNAN	SKENARIO	BERAT	LUAS	BERAT/LUAS	PRESENTASE BERAT
		(t)	m ²	(t/m ²)	
3-1-12	S1	3605,92	3888	0,9274	100%
	S2	3540,63	3888	0,9107	98,19%
5-2-12	S1	8840,20	10800	0,8185	100%
	S2	8768,82	10800	0,8119	99,19%
5-2-20	S1	15516,25	18000	0,8620	100%
	S2	15475,91	18000	0,8598	99,74%

4.4. Drift Ratio

Hasil *drift ratio* gempa periode ulang 2500 tahun dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Drift Ratio Maksimum

Model Bangunan	Drift (%)
31J12-S1	2,08
31J12-S2	1,69
52J12-S1	1,65
52J12-S2	1,69
52J20-S1	1,12
52J20-S2	1,25

4.5. Displacement

Hasil *displacement* gempa periode ulang 2500 tahun dapat dilihat pada **Tabel 7.**

Tabel 7. Displacement Maksimum

Model Bangunan	Displacement (mm)
31J12-S1	668,04100
31J12-S2	622,097
52J12-S1	546,562
52J12-S2	533,025
52J20-S1	736,703
52J20-S2	637,559

4.6. Acceptance Criteria

Untuk mengecek performa bangunan yang terjadi, digunakan tabel yang terdapat pada FEMA 356(*SAC Joint Venture, 2000*). Pada tabel ini tingkat kerusakan bangunan dibagi berdasarkan 4 tahap, yaitu tahap *Immidiata occupancy, Life Safety, Collapse prevention, Unacceptable limit state*. Tabel performa tiap bangunan mengacu pada FEMA 356 yang dapat dilihat pada **Tabel 8.**

Tabel 8. Performa Bangunan Berdasarkan Drift Ratio

Gempa perioda ulang 2500 tahun / Time Step 30				
Tipe bangunan	<i>Immidiata Occupancy limit</i>	<i>Life safety limit state</i>	<i>Collapse prevention limit</i>	<i>Unacceptable limit state</i>
3-1-12(S1)				2,08
3-1-12(S2)			1,69	
5-2-12(S1)			1,65	
5-2-12(S2)			1,69	
5-2-20(S1)		1,12		
5-2-20(S2)		1,25		
<i>Drift Ratio Max</i>	<0.5	0.5 - 1.5	1.5 - 2	>2

4.7. Diskusi Lanjutan Bangunan Skenario 2

Pada penelitian kali ini dapat dilihat bahwa bangunan yang didisain dengan skenario 1 dan skenario 2 memiliki performa bangunan yang tidak jauh berbeda. Dalam penelitian kali ini, performa bangunan skenario 2 sedikit lebih baik dari bangunan yang didesain dengan skenario 1. Hal ini terjadi disebabkan karena perbedaan berat bangunan yang tidak terlalu jauh dan presentase gaya lateral pada sistem SRPMK antara bangunan skenario 1 dan skenario 2 yang tidak terlalu berbeda jauh. Oleh karena itu peneliti mencoba melakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai hal ini. Dalam penelitian kali ini, desain bangunan skenario 2 belum pada desain paling efisien. Hal ini disebabkan karena peneliti mengejar kekakuan yang relatif sama dari ketiga jenis bangunan. Karena pada bangunan 5-2-20, bangunan sudah tidak bisa diperkecil lagi presentase gaya lateral SRPMKnya, sehingga bangunan 3-1-12 dan 5-2-12 mengikuti presentase gaya lateral SRPMK dari bangunan 5-2-20 (20%-22%). Bila diselidiki lebih lanjut, bangunan skenario 2 (khususnya bangunan 3-1-12 dan 5-2-12) mempunyai alternatif disain yang lebih efisien. Setelah mendisain kembali bangunan, peneliti melakukan pengecekan performa bangunan dengan analisa *Time History*. Hasil yang diperoleh pada bangunan 3-1-12 skenario 2 dengan presentase gaya lateral sebesar 17% adalah bangunan 3-1-12 skenario 1 lebih bagus daripada bangunan skenario 2. Dari hasil perbandingan *drift* dan *displacement* dapat dilihat bahwa bangunan 3-1-12 skenario 2 dengan presentase gaya lateral SRPMK 17% memiliki performa bangunan yang lebih jelek dari bangunan skenario 1 maupun bangunan skenario 2 dengan presentase gaya lateral SRPMK 20%. *Drift Ratio* dari bangunan skenario 2 pun jika dilihat dari tabel performa bangunan yang berdasarkan FEMA 356 sudah pada tahap *unacceptable limit state*. Jika melihat hasil dari penelitian ini, peneliti dapat menyimpulkan bahwa bangunan skenario 2 dengan presentase berat dan presentase gaya lateral SRPMK yang berbeda jauh dengan bangunan skenario 1 memiliki performa yang lebih buruk daripada bangunan skenario 2 dengan presentase berat dan presentase gaya lateral SRPMK yang tidak terlalu berbeda dengan bangunan skenario 1.

5. KESIMPULAN

Bangunan yang didesain terhadap skenario 1 memiliki presentase berat yang lebih berat dibandingkan dengan bangunan yang didesain terhadap skenario 2. Akan tetapi perbedaan berat antara kedua bangunan yang didesain dengan skenario 1 maupun skenario 2 tidak terlalu signifikan, dimana perbedaan berat tersebut masih kurang dari 3 persen. Dalam penelitian kali ini, bangunan yang didesain terhadap skenario 2 dan skenario 1 memiliki performa yang tidak jauh berbeda jika dilihat dari *drift ratio* dan *displacement* yang terjadi. Lokasi sendi plastis yang terjadi pada bangunan skenario 1 dan skenario 2 tidak ada perbedaan yang signifikan. 3. Dalam penelitian ini desain bangunan skenario 2 memiliki performa yang sedikit lebih bagus daripada desain bangunan skenario 1. Akan tetapi bangunan 3-1-12 dan 5-2-12 skenario 2 memiliki alternatif desain yang lebih efisien. Namun pada penelitian kali ini, peneliti mencoba menyamakan kekakuan (dilihat dari presentase gaya lateral SRPMK) dari 3 jenis bangunan dimana pada bangunan 5-2-20, bangunan sudah pada tahap paling efisien. Dan jika bangunan 3-1-12 berada pada tahap yang lebih efisien membuat performa skenario 2 memiliki performa yang lebih buruk dari skenario 1.

6. DAFTAR REFERENSI

- American Institute of Steel Construction (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, ANSI/AISC 341-10. American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago
- ASCE Standard ASCE/SEI. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10)*. Virginia
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, SNI 1729:2015*

- Departemen Pekerjaan Umum. (2012). *SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. *Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*, Semarang, 17-18 Juni, 2005.
- Jaya, A. dan Winar, H. (2016). Evaluasi SNI 1726:2012 Pasal 7.2.5.1 Mengenai Distribusi Gaya Lateral Terhadap Kekakuan dan Kekuatan pada Sistem Ganda SRPMK dan SRBKK. (Tugas Akhir Strata 1 No: 11012134/SIP/2016). Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- SAC Joint Venture (2000). *FEMA-356 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*. Federal Emergency Management Agency, California.
- SAC Joint Venture (2006). *FEMA-451 NEHRP Recommended Provisions: Design Examples*. Federal Emergency Management Agency, California.