

EVALUASI KINERJA BANGUNAN YANG DIDESAIN SECARA DDBD TERHADAP GEMPA RENCANA

Reynaldo Pratama Intan¹, Arygianni Valentino², Ima Muljati³, Benjamin Lumantarna⁴

ABSTRAK : Salah satu dari prosedur untuk mendesain bangunan terhadap gempa adalah *Direct Displacement Based Design* (DDBD) yang merupakan varian dari *Displacement Based Design* (DBD). Beberapa penelitian telah menggunakan DDBD dengan beban gempa sesuai SNI 2002 dan 2012. Semuanya menunjukkan bahwa DDBD memiliki kinerja yang sangat baik. Padahal beban rencana tersebut jauh lebih rendah daripada target desain yang diharapkan (gempa dengan periode ulang 2500 tahun) Oleh karena itu pengujian dilakukan cara *non-linier time history analysis* dengan gempa El-Centro 1940 N-S yang sudah dimodifikasi untuk wilayah Surabaya dan Jayapura menurut SNI 1726-2012 untuk berbagai periode ulang gempa. Untuk mengetahui kinerja bangunan tersebut, digunakan parameter *drift*, momen rotasi dan mekanisme keruntuhan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja bangunan sangat baik untuk level gempa tinggi (2500 tahun). Dari letak sendi plastis yang terjadi, dapat disimpulkan bahwa *capacity design* pada bangunan tidak terjamin dengan sempurna, karena muncul sendi plastis pada kolom selain pada kolom lantai paling bawah dan kolom lantai paling atas. Namun *side sway mechanism* tetap terjamin, karena balok selalu leleh terlebih dahulu sebelum kolom.

KATA KUNCI : DDBD, *non-linier time history analysis*, PBD, *drift* dan rotasi, *capacity design*, *side sway mechanism*

1. PENDAHULUAN

Desain bangunan terhadap gempa saat ini menggunakan metode *Force-Based Design* (FBD), namun kelemahan dari metode ini adalah memakan banyak waktu (Priestley et al., 2007). Untuk mengatasi masalah dengan metode FBD tersebut, dikembangkanlah metode lain sebagai alternatif, yaitu metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD). Dalam metode DDBD esarnya gaya geser dasar ditentukan berdasarkan kekakuan efektif dan target perpindahan yang telah ditentukan menurut level kinerja struktur yang dikehendaki, dalam hal ini *level 1-No Damage* (*drift limit* 0.7%) atau *level 2-Repairable Damage* (*drift limit* 2.5%) (Priestley et al., 2007). Pada penelitian sebelumnya oleh I.W.Susanto dan P.Rantetana, O.Dwisetia dan F.Limantauw, F.Asisi dan K.Willyanto, menghasilkan desain bangunan berdasarkan metode DDBD pada *level-2* untuk wilayah gempa rendah dan tinggi terhadap gempa rencana sesuai SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Perlu diketahui bahwa dalam SNI 1726-2012 terdapat faktor reduksi sebesar 2/3 terhadap gempa 2500 tahun, yang menyebabkan besarnya gempa rencana untuk desain menjadi lebih kecil daripada gempa dengan periode ulang 2500 tahun yang sesungguhnya (Pasal 6.3, SNI 1726-2012). Sehubungan dengan hal ini, maka perlu adanya penelitian mengenai kinerja bangunan yang didesain secara DDBD, berdasarkan SNI 1726-2012, terhadap gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan gempa dengan periode ulang lainnya baik lebih besar ataupun lebih kecil dari gempa periode ulang 2500 tahun, sehingga dapat diketahui kinerjanya.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, rey.95@hotmail.co.id

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

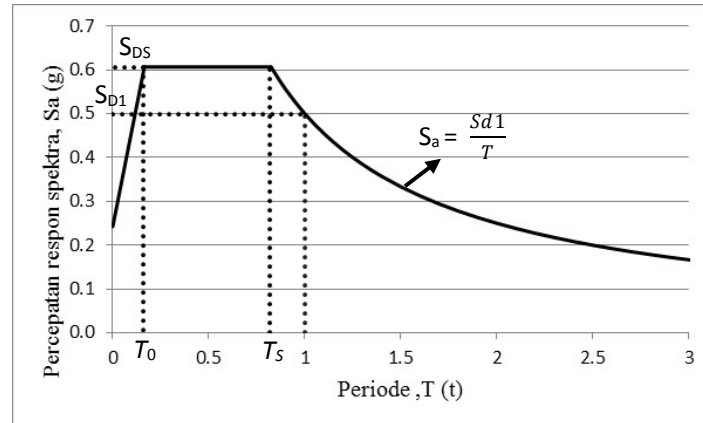
³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, imuljati@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra bluman@petra.ac.id

2. STUDI LITERATUR

2.1. Gempa Rencana dan Periode Ulang Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012

Respon spektrum untuk gempa rencana pada SNI 1726-2012 adalah gempa dengan probabilitas 2 persen terlampaui dalam 50 tahun, atau dengan kata lain adalah gempa dengan periode ulang 2500 tahun. Respon spektrum desain dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Respon Spektrum Desain (Gambar 1, SNI 1726-2012)

Dalam pembuatan respon spektrum desain dan seluruh parameternya (S_{D1}, S_{DS}), pertama-tama perlu ditentukan situs kelas tanah yang digunakan. Parameter yang perlu ditentukan adalah parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_1) (**Gambar 2 dan 3**, SNI 1726-2012). Setelah itu, dibutuhkan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) berdasarkan MCE_R , yang dapat dihitung dengan persamaan 2.1 dan persamaan 2.2.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.2)$$

Dimana nilai F_a (faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek) dan F_v (faktor amplikasi getaran terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik) dapat dilihat pada Tabel 4 dan SNI 1726-2012. Selanjutnya parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik, (S_{D1}) harus ditentukan melalui persamaan 2.3 dan 2.4.

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} \quad (2.4)$$

Nilai T_0 dan T_S dapat dihitung menggunakan persamaan 2.5 dan 2.6

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.5)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.6)$$

Grafik respon spektrum dapat dibuat dengan ketentuan :

$$\text{Untuk } T < T_0 \quad \rightarrow S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

$$\text{Untuk } T_0 \leq T \leq T_S \quad \rightarrow S_a = S_{DS} \quad (2.8)$$

$$\text{Untuk } T > T_S \quad \rightarrow S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.9)$$

Jika dilihat pada persamaan 2.3. dan 2.4. terdapat faktor reduksi sebesar $\frac{2}{3}$, sehingga beban gempa rencana tidak lagi setara dengan gempa 2500 tahun, melainkan menjadi lebih kecil. Departemen Pekerjaan Umum (Pusair, 2011), menyediakan berbagai nilai *peak ground acceleration* (PGA) untuk berbagai periode ulang gempa dari rentang 0 - 10000 tahun. Berdasarkan perbandingan nilai-nilai PGA tersebut, dapat diketahui nilai periode ulang yang sebenarnya dari respon spektrum desain yang digunakan oleh SNI 1726-2012.

2.2. Performance Based Design

Performance Based Design (PBD) merupakan suatu tolak ukur dalam penentuan kinerja bangunan yang didesain terhadap beban gempa. Terdapat 4 *Building Performance Level* menurut FEMA 356 (2000), antara lain :

1. *Operational* : Pada level ini bangunan masih dalam kondisi elastis dan berfungsi dengan normal.
2. *Immediate Occupancy* : Pada level ini bangunan menerima sedikit kerusakan, masih bisa dilakukan beberapa perbaikan kecil pada bangunan.
3. *Life Safety* : Pada level ini bangunan menerima kerusakan yang besar , tetapi struktur tetap stabil. Keamanan manusia terjamin, dan perbaikan kerusakan mungkin tidak ekonomis.
4. *Collapse Prevention* : Pada level ini kerusakan yang diterima oleh bangunan sudah parah, tetapi struktur tidak sampai runtuh, dan tidak dapat diperbaiki lagi.

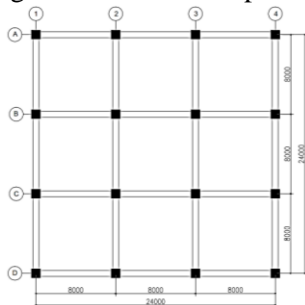
Adapun matriks performance based design menurut FEMA 356 dapat dilihat pada **Gambar 2**.

		Performance			
		Operational	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention
Level Gempa	100 tahun		x	x	x
	250 tahun			x	x
	500 tahun				x
	2500 tahun				
Drift %		0	0-1%	1%-2%	2-4%

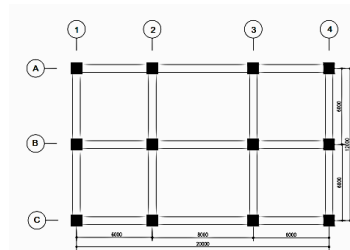
Gambar 2. Matriks Performance Based Design (PBD)

3. METODOLOGI PENELITIAN

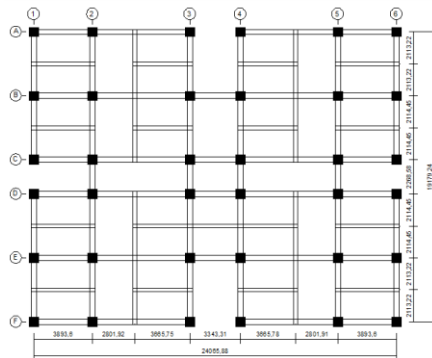
Denah yang dipakai dalam penelitian ini adalah bangunan *regular* yang telah didesain pada penelitian terdahulu dengan metode DDBD pada *level-2*. Denah bangunan dapat dilihat pada **Gambar 3-5**.



Gambar 3. Denah pada Penelitian Susanto dan Rantetana (2013), Tipe Denah A, 6-Lantai



Gambar 4. Denah pada Penelitian Dwisetia dan Limantauw (2014), Tipe Denah B, 6- dan 10-Lantai



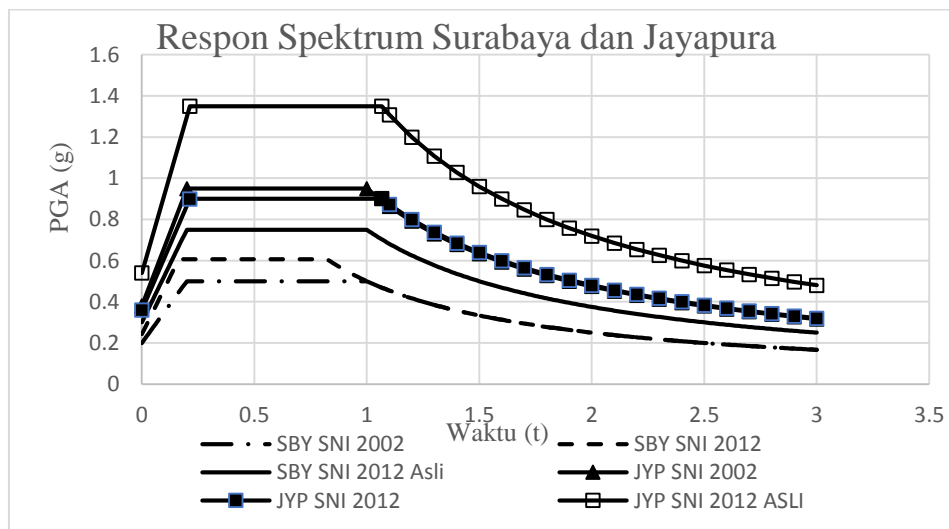
Gambar 5. Denah pada Penelitian Asisi dan Willyanto (2013), Tipe Denah C, 6-Lantai

Perilaku plastis elemen struktur digambarkan dengan hubungan momen-kurvatur yang diperoleh dengan bantuan program CUMBIA (Montejo, 2007). Struktur dimodelkan pada SAP2000v11 dan dilakukan *non-linear time history analysis* dengan beban gempa El Centro 1940 N-S yang telah dimodifikasi berdasarkan SNI 1726-2012 untuk wilayah Surabaya dan Jayapura dengan bantuan program RESMAT (Lumantarna dan Lukito, 1997). Setelah itu dilakukan analisa untuk rotasi balok dan kolom, *drift*, dan mekanisme keruntuhan yang terjadi.

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Gempa Rencana Berdasarkan SNI 1726-2012

Adanya faktor reduksi sebesar $2/3$, menyebabkan besarnya gempa rencana menurut SNI 1726-2012 tidak lagi setara dengan gempa 2500 tahun. Untuk wilayah Surabaya dengan kelas situs E (tanah lunak), adanya faktor reduksi sebesar $2/3$ ini menyebabkan gempa rencana menjadi setara dengan periode ulang 100 tahun, sedangkan untuk wilayah Jayapura dengan kelas situs E (tanah lunak) setara dengan gempa periode ulang 50 tahun. Perbandingan respon spektrum untuk wilayah gempa Surabaya dan Jayapura dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Respon Spektrum Surabaya dan Jayapura

4.2. Denah Tipe B dan C

Dari hasil non-linier time history analysis, 3 dapat dilihat bahwa pada wilayah Surabaya, pada gempa dengan periode ulang 10-10000 tahun, menghasilkan drift yang masih kurang dari drift target (2.5%). Namun untuk wilayah Jayapura, hingga gempa periode ulang 250 tahun, drift bangunan masih memenuhi drift target. Matriks *performance based design* untuk rotasi balok, kolom, dan drift dapat dilihat pada **Tabel 1-3**. Lingkaran hitam (●) menunjukkan varian dengan gempa tinggi, sedangkan lingkaran putih (○) menunjukkan varian dengan gempa rendah. Angka didalam lingkaran menunjukkan jumlah varian yang berada dalam level kinerja yang ditinjau. Contoh: ② menandakan bahwa ada dua varian dari daerah gempa tinggi.

Tabel 1. Matriks Performance Based Design Balok Denah B dan C

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Collapse
10	②●	④④			
30		⑥②	④		
50		⑥②		④	
100		④②	②	④	
250		③②	③	④	
500		①②	⑤	④	
1000		②	⑥	④	
2500		②	⑥	④	
5000		②	⑥	④	
7000		②	⑥	④	
9000		②	⑥	④	
10000		②	⑥	④	

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain
- ④ = Jumlah Varian dalam Level Kerja yang Ditinjau

Tabel 2. Matriks Performance Based Design Kolom Denah B dan C

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Collapse
10	⑥⑥				
30	⑤⑥	①			
50	②④	④	②		
100	④②	①②	①②		
250	③①	①②	②③		
500	①	③②	②④		
1000	①	③②	④	②	
2500		④②	④	②	
5000		③②	①③	②①	
7000		③②	②②	①②	
9000		②②	②	②④	
10000		②②	②	②④	

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain
- ④ = Jumlah Varian dalam Level Kerja yang Ditinjau

Tabel 3. Matriks Performance Based Design Drift Denah B dan C

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy		Life Safety		Collapse Prevention				Unacceptable
10	②	⑥④								
30		②⑥		④						
50		②④	②	②	②					
100		②②	④		④					
250		②	④	②		③	①			
500		②	④	②		②	②			
1000		②	③	③			④			
2500		②	①	⑤				④		
5000		①	①	⑤	①				④	
7000			②	⑤	①					④
9000			②	④	②					④
10000			②	②	④					④
Drift	0	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	>4

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain
- ④ = Jumlah Varian dalam Level Kerja yang Ditinjau

Dari seluruh pengujian didapatkan bahwa balok selalu leleh terlebih dahulu sebelum kolom. Namun untuk gempa dengan periode ulang tinggi, didapati bahwa terjadi leleh pada kolom, selain kolom pada ujung atas dan ujung bawah.

4.3. Denah Tipe A

Pada denah tipe A ini ditemukan kejanggalkan, yaitu bangunan tidak dapat bertahan hingga gempa dengan periode ulang 10000 tahun, tidak seperti bangunan pada denah B dan C. Pada wilayah Jayapura untuk denah Tipe A mengalami kegagalan pada gempa dengan periode ulang 5000 tahun, sedangkan pada denah Tipe A untuk wilayah Surabaya mengalami kegagalan pada gempa 30 tahun. Keduanya mengalami kegagalan pada kolom-kolom lantai 1. Matriks *performance based design* untuk rotasi balok, kolom, dan drift dapat dilihat pada **Tabel 4-6**.

Tabel 4. Matriks Performance Based Design Balok Denah A

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Collapse
10	●	○			
30		●			○
50		●			
100		●			
250			●		
500			●		
1000			●		
2500			●		
5000					●
7000					
9000					
10000					

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain

Tabel 5. Matriks Performance Based Design Kolom Denah A

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Collapse
10	●○				
30		●			○
50		●			
100		●			
250		●			
500		●			
1000			●		
2500				●	
5000					●
7000					
9000					
10000					

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain

Tabel 6. Matriks Performance Based Design Drift Denah A

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy		Life Safety		Collapse Prevention				Unacceptable
10	●	○								
30			●							○
50				●						
100				●						
250				●						
500				●						
1000					●					
2500					●					
5000										●
7000										
9000										
10000										
Drift	0	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	>4

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain

Kejanggalan ini diakibatkan karena terdapat beda kombinasi beban aksial pada saat proses desain (1.2 Dead + 0.5 Live) dengan kombinasi beban aksial yang digunakan untuk pengujian (1 Dead + 0.5 Live + 1 Earthquake). Oleh karena itu dilakukan pengujian ulang terhadap denah A yang tidak mampu bertahan pada level gempa rencananya dengan kombinasi beban aksial 1.2 Dead + 0.5 Live. Hasil dari pengujian ulang ini, untuk wilayah Surabaya gagal pada gempa dengan periode ulang 2500 tahun. Kegagalan terjadi pada kolom-kolom lantai 1, indikasi *soft storey mechanism*. Matriks *performance based design* dapat dilihat pada **Tabel 7-9**.

Tabel 7. Matriks Performance Based Design Balok Denah A

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Collapse
10		○			
30		○			
50		○			
100		○			
250			○		
500				○	
1000			○		
2500					○
5000					
7000					
9000					
10000					

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain

Tabel 8. Matriks Performance Based Design Kolom Denah A

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Collapse
10	○				
30	○				
50		○			
100		○			
250		○			
500			○		
1000		○			
2500					○
5000					
7000					
9000					
10000					

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain

Tabel 9. Matriks Performance Based Design Drift Denah A

Periode Ulang Gempa	Operational Level	Immediate Occupancy		Life Safety		Collapse Prevention				Unacceptable
10			○							
30				○						
50					○					
100						○				
250							○			
500										○
1000										○
2500										○
5000										
7000										
9000										
10000										
Drift	0	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	>4

- Gempa Wilayah Jayapura
- Gempa Wilayah Surabaya
- = Melebihi Target Desain

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja bangunan beraturan (*regular*) di wilayah gempa rendah (Surabaya) dan gempa tinggi (Jayapura) yang direncanakan dengan metode DDBD terhadap gempa SNI 1726-2012, dapat disimpulkan bahwa:

1. Beban gempa rencana menurut SNI 1726-2012, ternyata setara dengan gempa periode ulang 100 tahun untuk wilayah Surabaya kelas situs E dan 50 tahun untuk wilayah Jayapura kelas E. Hal ini berarti gempa rencana jauh lebih kecil daripada target kinerja yang direncanakan (periode ulang 2500 tahun).
2. Kinerja bangunan (ditinjau dari drift dan rotasi yang terjadi) pada gempa dengan level rendah hingga sedang (kurang dari 2500 tahun) tidak memenuhi harapan, sedangkan pada level yang lebih tinggi (lebih dari 2500 hingga 10000 tahun) drift bangunan sudah melampaui ketentuan.
3. Untuk target desain *level 2* (gempa bear), DDBD memiliki kinerja yang baik. Untuk gempa kecil, kinerja DDBD tidak memenuhi harapan. Dengan demikian seyogyanya prosedur DDBD dilakukan untuk 2 level desain target yang berbeda untuk mewakili kinerja bangunan pada level rendah dan tinggi.
4. *Side sway mechanism* pada bangunan tidak terjamin dengan sempurna, karena muncul sendi plastis pada kolom selain pada kolom lantai paling bawah dan kolom lantai paling atas. Namun *capacity design* tetap menjamin terjadinya *side sway mechanism* karena balok selalu leleh terlebih dahulu sebelum kolom.

6. DAFTAR REFRENSI

- Asisi, F dan Willyanto, K. (2014). *Perbandingan Kinerja Bangunan yang Didesain dengan Forced-Based Design dan Direct Displacement-Based Design Menggunakan SNI Gempa 2012*. Tugas Akhir No. 1101 1996/SIP/2013 Jurusan Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). SNI-03-1726-2002. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2012). SNI-03-1726-2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Dwisetya, O dan Limantauw, F. (2014). *Pengujian Rumus Empiris Dimensi Elemen Sistem Rangka Penahan Momen Beraturan yang Didesain Secara Direct Displacement-Based*. Tugas Akhir No. 1101 1953/SIP/2014 Jurusan Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- FEMA 356. (2000). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Priestley, M.J.N, Calvi, G.M dan Kowalsky, M.J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structure*. Pavia: IUSS Press.
- Susanto, I.W dan Rantetana, P. (2013). *Evaluasi Metode FBD dan DDBD pada SRPM di Wilayah 2 dan 6 Peta Gempa Indonesia*. Tugas Akhir No. 1101 1875/SIP/2012 Jurusan Teknik Sipil. Universitas Kristen Petra. Surabaya.