

Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit Paru Sumatera Barat dengan *Pushover Analysis*

Nugrafindo Yanto¹, Rafki Imani¹, Zulva Andika²

^{1, 2}Universitas Putra Indonesia YPTK Padang

Email : nugrafindo@gmail.com

Abstrak

Sumatera Barat merupakan daerah yang rawan terhadap gempa bumi. Bencana gempa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur bangunan. Saat terjadi gempa, diharapkan bangunan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada strukturnya atau apabila struktur bangunan harus mengalami keruntuhan mampu memberikan perilaku *nonlinier* pada kondisi *pasca-elastik* sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin. Melihat dari fenomena gempa bumi yang telah terjadi belakangan ini, maka sangat perlu diperiksa atau dianalisis kelayakan dari Gedung Rumah Sakit Paru Sumatera Barat. Metode evaluasi yang digunakan adalah analisis statik *non-linier* (*Pushover*). Beban lateral yang digunakan merupakan hasil dari analisis statik ekuivalen. Level kinerja ditentukan dengan Target Perpindahan sesuai *Federal Emergency Management Agency* [4]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Tingkat kinerja Struktur Rumah Sakit Paru Sumatera Barat tersebut adalah dalam kondisi IO-LS (*Immediate occupancy-Life Safety*) yang artinya tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa digunakan, hal ini berdasarkan target *displacement* FEMA 356, dan pola keruntuhan pada Struktur Rumah Sakit Paru Sumatera Barat, elemen struktur yang lemah (terjadi sendi *plastis*) adalah elemen balok.

Kata kunci: *pushover*, sendi *plastis*, struktur

1. Pendahuluan

Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat sebagian besar wilayahnya terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas moderat hingga tinggi. Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat rawan akan terjadinya gempa. Hal ini disebabkan karena Indonesia merupakan tempat bertemunya tiga lempeng tektonik utama yaitu lempeng Eurasia, lempeng Philipina, dan lempeng Indo-Australia. Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi [8].

Menurut [6], Indonesia dalam beberapa tahun belakangan ini sering terjadi bencana gempa bumi dalam skala yang cukup besar. Seperti gempa Aceh pada tahun 2004 ($M_w = 9.2$), gempa di Nias pada tahun 2005 ($M_w = 8.7$), gempa di Yogya tahun 2006 ($M_w = 6.3$), gempa di Bengkulu 2007 ($M_w = 7.9$), gempa di Tasikmalaya tahun 2009 ($M_w = 7.4$) serta gempa yang terjadi di Padang pada 2009 ($M_w = 7.6$). Berdasarkan hasil rekaman yang ada, dalam rentang waktu tahun 1900 sampai dengan tahun 2009, telah terjadi lebih dari 14.000 gempa utama (*main shocks*) dengan skala magnitudo $M > 5.0$. Pada peristiwa gempa yang terjadi, sering mengakibatkan banyak bangunan yang mengalami kegagalan struktur, baik akibat perencanaan maupun

pelaksanaan yang kurang baik atau bahkan sama sekali belum direncanakan untuk ketahanan gempa.

Melihat dari fenomena gempa bumi yang telah terjadi belakangan ini, Sumatera Barat merupakan daerah yang rawan terhadap gempa bumi. Maka sangat perlu diperiksa atau dianalisis kelayakan dari Gedung Rumah Sakit Paru Sumatera Barat ini. Analisa *pushover* [2] merupakan salah satu komponen *Performance Based Seismic Design* yang memanfaatkan teknik analisa non-linier berbasis komputer untuk menganalisa perilaku struktur dari berbagai macam intensitas gerakan tanah (gempa), dengan memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Berdasarkan penjelasan di atas penulis tertarik untuk mengetahui kinerja Struktur Rumah Sakit Paru Sumatera Barat dengan analisis *pushover*.

2. Analisis Pushover

2.1 Analisis Statik Beban Dorong (*Static Pushover Analysis*)

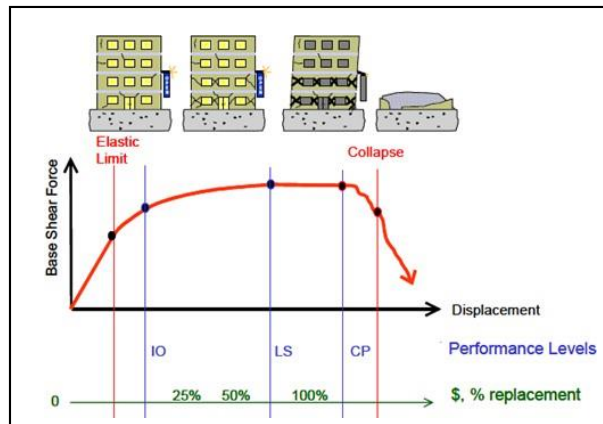
Menurut SNI Gempa [10], analisis statik beban dorong (*pushover*) adalah suatu analisis nonlinier statik, yang dalam analisisnya pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban statik pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi *plastis*) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastik.

Tujuan analisis beban dorong adalah mengevaluasi perilaku Seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual struktur, memperlihatkan kurva kapasitas (*capacity curve*), dan memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi *plastis*) yang terjadi [7].

Metode analisis statik beban dorong merupakan metode dengan pendekatan nonlinier statik, yang dapat digunakan pada struktur bangunan gedung beraturan, dengan karakteristik dinamik mode tinggi yang tidak dominan. Salah satu hasil analisis yang mempunyai manfaat penting yaitu kurva kapasitas.

2.2 Batas Kinerja

Berdasarkan filosofi desain yang ada, tingkat kinerja struktur bangunan akibat gempa rencana adalah *Life Safety*, yaitu walaupun struktur bangunan mengalami tingkat kerusakan yang cukup parah namun keselamatan penghuni tetap terjaga karena struktur bangunan tidak sampai runtuh. Pada Gambar 2.2, respon linier dimulai dari titik A (*unloaded component*) dan kelelahan mulai terjadi pada titik B. Respon dari titik B ke titik C merupakan respon elastis plastis. Titik C merupakan titik yang menunjukkan puncak kekuatan komponen, dan nilai absisnya yang merupakan deformasi menunjukkan dimulainya degradasi kekuatan struktur (garis C-D). Pada titik D, respon komponen struktur secara substansial menghadapi pengurangan kekuatan menuju titik E. Untuk deformasi yang lebih besar dari titik E, kekuatan komponen struktur menjadi nol (FEMA 451, 2006).



Gambar 2.2: Kurva Kriteria Keruntuhan [4].

Antara titik B dan C terdapat titik-titik yang merupakan level kinerja dari struktur bangunan. Level kinerja bangunan [1] dibedakan menjadi lima level sebagai berikut:

1. *Immediate Occupancy (IO)*
Kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan struktur sangat terbatas. Sistem penahan beban vertikal dan lateral bangunan hampir sama dengan kondisi sebelum terjadinya gempa, dan resiko korban jiwa akibat keruntuhan struktur dapat diabaikan.
2. *Damage Control*
Kondisi ini bukanlah merupakan level kinerja dari struktur, melainkan kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam *range* antara IO dan LS.
3. *Life Safety (LS)*
Kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan yang penting terhadap struktur terjadi. Komponen utama struktur tidak terdislokasi dan runtuh, sehingga risiko korban jiwa terhadap kerusakan struktur sangat rendah.
4. *Limited Safety*
Kondisi ini bukanlah level kinerja dari struktur, melainkan kondisi yang menjelaskan bahwasetelah terjadinya gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam range antara LS dan CP.
5. *Structural Stability/Collapse Prevention (CP)*
Pada tingkatan ini, kondisi struktur setelah terjadinya gempa sangat parah, sehingga bangunan dapat mengalami keruntuhan struktur baik sebagian maupun total. Meskipun struktur masih bersifat stabil, kemungkinan terjadinya korban jiwa akibat kerusakan struktur besar. Dalam dokumen FEMA 273, kondisi structural stability dikenal dengan istilah *Collapse Prevention (CP)*.

2.3 Target Displacement

Target *displacement* dalam analisa statis *non linier* harus ditetapkan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena dalam prosedur analisis non linier ini beban akan ditingkatkan secara monotonik sampai pada batas tertentu sesuai dengan target perpindahan yang telah ditetapkan dalam target *displacement* tersebut.

Berikut adalah target displacement menurut FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency, 2000):

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{4\pi} \right)^2 g \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan:

δ_T = Target *displacement*

C_0 = Faktor modifikasi yang menghubungkan nilai *spectral displacement* dan *roof displacement*.

C_1 = Faktor modifikasi untuk korelasi target simpangan inelastik maksimum terhadap simpangan hasil *responslinier analysis*

C_2 = Koefisien untuk hubungan beban -deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan berdasarkan Tabel.

C_3 = Faktor modifikasi untuk memperliha tkan kenaikan peralihan akibat efek *p – delta*.

S_a = Akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

T_e = Periode alami getar efektif.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T_e} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan:

S_{D1} = Parameter respons spektralpercepatandesain dengan perioda 1detik.

Tabel 2.8: Values for Modification Factor C_0 [4].

Number of Stories	Shear Buildings		Other Buildings
	Triangular Load Pattern	Uniform Load Pattern	Any Load Pattern
1	1	1	1
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5

Tabel 2.9: Values for Modification Factor C_2 [4].

Structural Peformance Level	$T \leq 0,1$ (detik)		$T \geq T_s$	
	Framing type 1	Framing type 2	Framing type 1	Framing type 2
Immediate Occupancy	1	1	1	
Life Safety	1,2	1,15	1,2	
Collapse Prevention	1,2	1,2	1,3	

3. Metodologi

3.1 Pelaksanaan Penelitian

Berikut tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini:

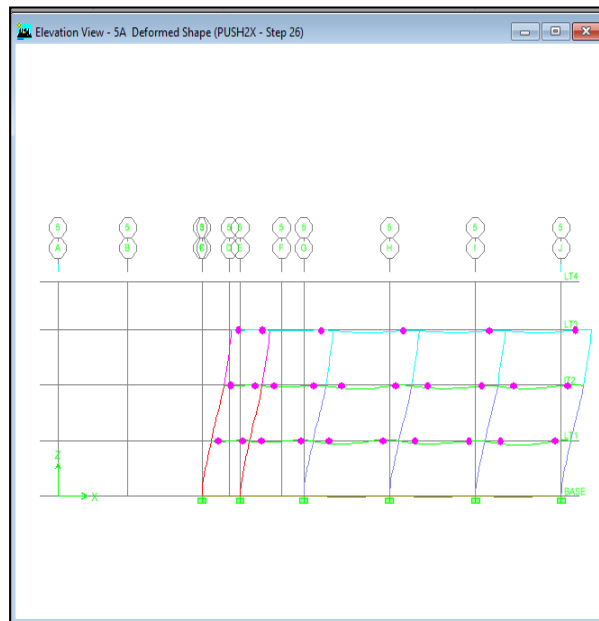
1. **Persiapan Literatur**
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi atau referensi yang berkaitan dan mengacu kepada tugas akhir yang akan dikerjakan. Literatur ini yang akan digunakan sebagai acuan dan panduan dalam pengerjaan. Hal ini dilakukan agar hasil akhir dari pengerjaan tugas akhir ini menghasilkan disain yang memiliki dasar yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan.
2. **Permodelan Struktur**
Memodelkan struktur gedung perkantoran dengan menggunakan software ETABS 9.7.1. Data struktur yang digunakan berdasarkan data dari perencanaan.
3. **Analisis Pembebanan**
Pembebanan yang dilakukan yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan fungsi gedung saja sedangkan beban gempa diperhitungkan berdasarkan fungsi gedung, daerah gempa serta kondisi tanah.
4. **Hasil dan Pembahasan**
Setelah dilakukan pembebanan terhadap model struktur tadi, maka dilakukan analisis pada software tersebut untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur tersebut. Setelah itu dilakukan analisis pushover agar bisa mengetahui kinerja dari struktur tersebut.
5. **Kesimpulan**
Berupa hasil yang didapatkan dari analisis yang dilakukan.

4. Hasil Analisis

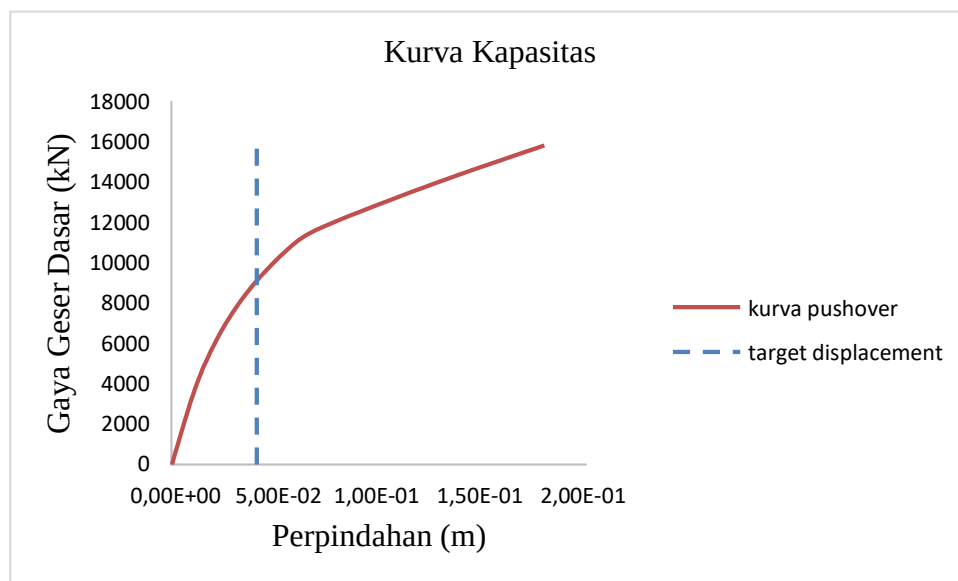
4.1 Analisa *Pushover*

Langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis *pushover* terhadap struktur yang telah direncanakan sebelumnya. Analisis *pushover* berarti memberikan beban lateral secara *continue* sampai struktur gedung mengalami kondisi kritis. Melalui analisis *pushover* dapat dilihat titik lokasi pada struktur yang mengalami kondisi leleh terlebih dahulu. Berikut adalah lokasi sendi *plastis* pertama setelah di-*pushover*.

Pada mekanisme sendi *plastis* akan disajikan gambar skema distribusi sendi *plastis*, yang diambil pada portal utama 5A yang menjadi parameter apabila terjadi keruntuhan total. Gambar yang akan ditampilkan yaitu pada kondisi maksimum, seperti pada Gambar 4.21 menunjukkan distribusi sendi *plastis* pada kondisi elemen balok muncul sendi *plastis* dengan level A-B dan I-O yang mana masih bersifat *elastic*. Semua ditandai dengan warna merah muda pada elemen balok.



Gambar 4.1: Lokasi sendi *plastis* pertama.

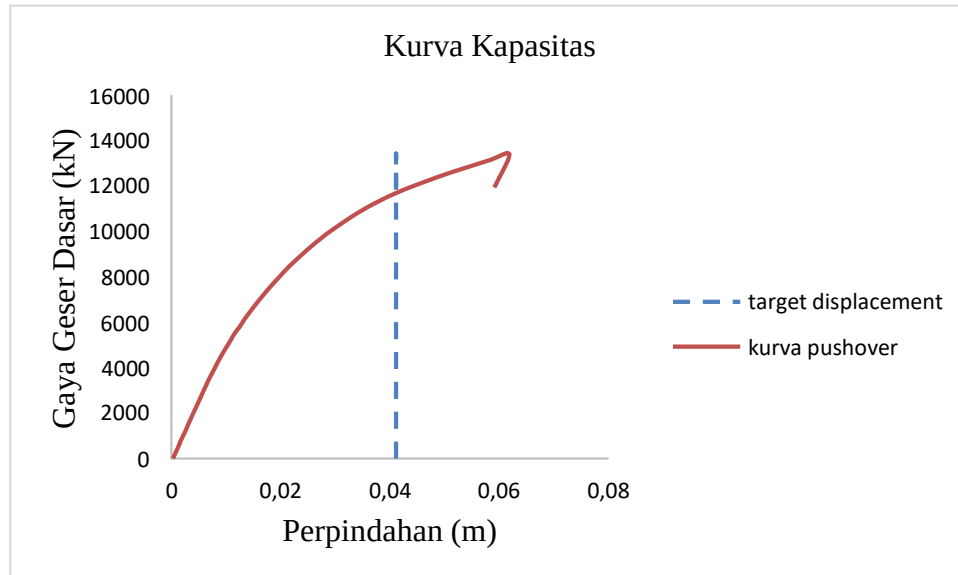


Gambar 4.2: *Pushover Curve* arah X.

Kurva di atas memberikan gambaran perilaku struktur mulai dari tahap kondisi *elastis*, *inelastis* kemudian sampai pada batas maksimum struktur menahan gaya gempa, tetapi belum terjadi keruntuhan atau masih berada diambang batas keruntuhan, ini dikarenakan bangunan masih berada pada titik kemampuan maksimum.

Hubungan kurva kapasitas dengan FEMA yaitu untuk menentukan kinerja suatu struktur, garis biru yaitu target displacement yang dihitung berdasarkan rumus dari FEMA. Dimana pertemuan antara kurva pushover dengan target displacement itulah kinerja struktur suatu gedung. Dari kurva *kapasitas* di atas menunjukkan bahwa kinerja struktur tersebut berada di IO-LS

(*immediate occupancy – life safety*) yaitu tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa digunakan.



Gambar 4.3: Pushover Curve arah Y.

Kurva di atas memberikan gambaran perilaku struktur mulai dari tahap kondisi *elastis*, *inelastis* kemudian mengalami keruntuhan yang ditunjukkan kurva dengan penurunan tajam, ini dikarenakan bangunan telah melebihi titik kemampuan maksimum untuk menahan beban lateral yang diberikan.

4.2 Tingkat Kinerja Struktur

Dari hasil analisa *pushover* yang telah dilakukan, dapat dilihat level kerusakan elemen struktur yang terjadi akibat deformasi yang diterima oleh bangunan. Sehingga dapat dilakukan evaluasi dan pengelompokan terhadap kategori kerusakan dan tingkat kinerja struktur gedung yang terjadi tiap perubahan nilai simpangannya. Tabel 4.2 adalah level kerusakan akibat terbentuk-nya sendi *plastis* dalam program ETABS v 9.7.1.

Tabel 4.1: Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuk-nya sendi *plastis* dalam program ETABS v 9.7.1 [5].

Kode	Simbol	Keterangan
B	●	Menunjukkan batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural.
IO	●	Tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil pada komponen non struktur. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi.
LS	●	Terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang . kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah

		mengalami perbaikan
CP		Terjadi kerusakan parah pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen nonstruktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh.
C		Batas maksimum struktur dalam menahan gaya gempa.
D		Struktur tidak mampu menahan gaya gempa tetapi masih mampu menahan gaya gravitasi.
E		Struktur sudah hancur (<i>damage</i>)

Dari penjelasan pada tabel 4.2 di atas, maka dapat diketahui bahwa tingkat kinerja Struktur Rumah Sakit Paru Sumatera Barat tersebut adalah dalam kondisi IO-LS (*Immediate occupancy – Life Safety*) yang artinya tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa segera digunakan, hal ini berdasarkan target *displacement* FEMA 356.

Pola keruntuhan pada Struktur Rumah Sakit Paru Sumatera Barat, memiliki elemen struktur yang lemah (terjadi sendi *plastis*) adalah elemen balok.

4.3 Analisa Daktilitas

Dari kurva kapasitas akan diperoleh nilai daktilitas, yang dihitung berdasarkan persamaan (2.12):

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

$$\mu = \frac{0,1753}{0,0409}$$

$$\mu = 4,286$$

Daktilitas aktual yang terjadi dari gedung tersebut adalah sebesar 4,286. Berdasarkan Tabel 2.13 pada Bab 2 landasan teori, dengan nilai 4,286 menunjukkan bahwa daktilitas struktur gedung Rumah Sakit Paru Sumatera Barat ini adalah daktilitas parsial.

5 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan, maka hasil penelitian ini dapat disimpulkan, yaitu:

1. Tingkat kinerja Struktur Rumah Sakit Paru Sumatera Barat berada dalam kondisi IO-LS (*Immediate occupancy –Life Safety*) yang artinya tidak ada kerusakan pada komponen struktur dan struktur bisa digunakan. Hal ini ditentukan berdasarkan target *displacement* FEMA 356.
2. Pola keruntuhan pada Struktur Rumah Sakit Paru Sumatera Barat, memiliki elemen struktur yang lemah (terjadi sendi *plastis*) yaitu terjadi pada elemen balok.

Referensi

- [1] Aisyah, S., Megantara, Y. 2011. Pemodelan Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Beton Bertulang Rangka Terbuka Simetris di Daerah Rawan Gempa dengan Metode Analisis Pushover. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- [2] ATC 40. 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council. Redwood City, California, U.S.A.

- [3] Dewobroto, W. 2005. Evaluasi Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa *Pushover*. Universitas Pelita Harapan. Semarang.
- [4] FEMA 356. 2000. Prestandard and Commentary for The seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency. Washington DC.
- [5] Istiono, H., Propika, J. 2017. Analisa Non-Linier Pada Mekanisme Keruntuhan Jembatan Rangka Baja Tipe Pratt. Vol. 1 No. 2 Desember 2017.
- [6] Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia. Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia. Bandung.
- [7] Pranata, Y. A. 2006. Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan *Pushover Analysis*. Universitas Kristen Maranatha. Jurnal Teknik Sipil, Vol 3., No.1, 2006. Bandung.
- [8] Riantoby, I. K. Budi, A. S., Purwanto, E. 2014. Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Pushover menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Hotel di Wilayah Karanganyar), Jurnal Teknik Sipil. Vol. 5 No. 2 Desember 2014: 12–66. Karanganyar.
- [9] SNI-1726:2012. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [10] SNI-1726-2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. BSN 2002: Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah. Bandung.