



EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG DI TANAH KHUSUS BERDASARKAN ANALISIS *PUSHOVER*

Halimatusadiyah¹, Reni Suryanita², dan Muhamad Yusa³

Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebantas KM. 12,5, Pekanbaru
Telp. (0761) 52324
E-mail : halimatusadiyah6599@grad.unri.ac.id

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima : 20 Desember 2020
Disetujui : 29 Juni 2021
Dipublikasikan : 30 Juni 2021

Keywords:

Tanah khusus ; Analisis
pushover; Kinerja struktur

Abstrak

Tanah khusus merupakan profil lapisan tanah yang rawan dan berpotensi likuifaksi, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs. Salah satu faktor pengaruh desain struktur bangunan tahan gempa adalah kondisi lapisan tanah dan bentuk konfigurasi dari struktur yang dianalisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan beton bertulang di tanah khusus berdasarkan metode analisis *pushover*. Analisis *pushover* adalah metode statis *non-linear* dimana struktur mengalami pembebanan gravitasi dan pola beban lateral yang dikendalikan perpindahan *monotonic* yang terus meningkat melalui perilaku elastik dan inelastik hingga kondisi akhir tercapai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kinerja struktur analisis *pushover* berdasarkan ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Damage Control*.

Kata Kunci: Tanah khusus, analisis *pushover*, kinerja struktur.

Abstract

Site class F is a profile of soil layers that are prone to liquefaction, that require specific geotechnical investigations and site-specific response analysis. One of the factors that influence design of earthquake-resistant the building structures is condition of the soil layer and and analysis structure. This research to evaluate the performance of reinforced concrete structures on site class F besed on the pushover analysis method. Pushover analysis is a non-linear static method in which a structure is subjected to gravitational loading and a lateral load pattern controlled by monotonic displacement which continues to increase through elastic and inelastic behavior until final conditions are reached. The results showed that the performance level of the pushover analysis structure based on the ATC-40 structure is included in the Damage Control category level.

Keywords : Site class F, *pushover* analysis, structure performance.

PENDAHULUAN

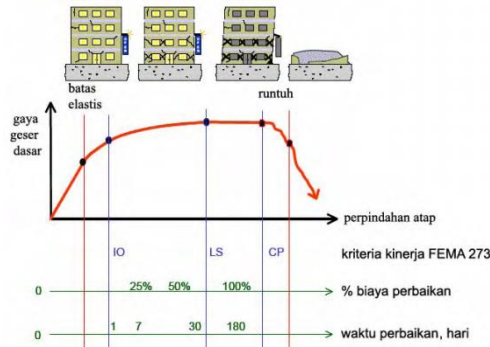
Analisis *pushover* adalah metode statis *non-linear* dimana struktur mengalami pembebanan gravitasi dan pola beban lateral yang dikendalikan perpindahan *monotonic* yang terus meningkat melalui perilaku elastik dan inelastik hingga kondisi akhir tercapai. Tanah khusus adalah profil lapisan tanah yang rawan dan berpotensi likuifaksi, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs. Berdasarkan data yang dihimpun dari BMKG tercatat kejadian gempa di Indonesia telah terjadi likuifaksi akibat gempa bumi, yaitu Gempa Sulawesi Tengah berkekuatan 7,4 M_W pada tanggal 28 September 2018, dan Gempa Lombok berkekuatan 7,0 M_W pada tanggal 5 Agustus 2018. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi dampak resiko kerusakan struktur bangunan akibat gempa bumi, terutama pada daerah-daerah yang memiliki lapisan tanah yang tidak memadai untuk pembangunan gedung bertingkat, dengan cara mengevaluasi kinerja struktur bangunan beton bertulang di tanah khusus menggunakan metode analisis *pushover*.

Penelitian mengenai Tanah Khusus (SF) belum banyak yang meneliti dikarenakan tidak adanya nilai parameter klasifikasi situs untuk Tanah Khusus (SF) yang signifikan. Namun penelitian terkait dengan evaluasi kinerja struktur yang pernah dilakukan oleh Sultan, M. A (2016) melakukan penelitian mengenai evaluasi kinerja struktur beton bertulang tahan gempa dengan analisis *pushover*, menyatakan bahwa evaluasi kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan mempengaruhi struktur bangunan gedung. Menurut Arifin, Z., dkk (2016) melakukan penelitian analisis struktur gedung POP Hotel terhadap beban gempa dengan metode *pushover analysis*, menyatakan bahwa kinerja bangunan Gedung POP Hotel mengalami kerusakan dengan level kinerja *Damage Control*, dengan perpindahan sebesar 0,47 meter pada arah Y dan gedung mengalami keruntuhan *beam sway*. Sedangkan menurut Chin, et al. melakukan penelitian evaluasi respons seismik untuk kelas situs tanah khusus menggunakan metode linear ekuivalen dan kode komputer nonlinear, jika analisis respons situs digunakan untuk tegangan geser tanah dan evaluasi regangan, itu harus dilakukan dengan rangkaian *time history* gempa yang mewakili bahaya seismik pada situsnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Kinerja Struktur

Tingkat kinerja sebuah bangunan menunjukkan kondisi bangunan setelah mengalami gempa. Kondisi ini dijelaskan melalui deskripsi kerusakan fisik yang dialami bangunan, tingkat bahaya akibat kerusakan yang terjadi terhadap pengguna bangunan, dan kemampuan layan bangunan pasca gempa, pada penentuan tingkat layan struktur bangunan berdasarkan FEMA 273 dapat dilihat dari bentuk kurva kapasitas serta kategori tingkat layanan, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Tingkat Kinerja Bangunan (FEMA 273, 1997)

Dalam dokumen *Applied Technology Council 40 (ATC 40)*, tingkat kinerja bangunan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yaitu sebagai berikut ini :

- *Immediate Occupancy, SP-1*
- *Damage Control, SP-2*
- *Life Safety, SP-3*
- *Limited Safety, SP-4*
- *Structural Stability, SP-5*
- *Not Considered, SP-6*

Menurut ATC-40, batasan rasio *drift* untuk gedung bertingkat yang dapat digunakan untuk menentukan nilai kinerja bangunan berdasarkan kerusakan yang terjadi. Untuk nilai batasan rasio *drift* yaitu pada Tabel 1:

Tabel.1. Batasan Rasio *Drift* Atap (ATC-40, 1996)

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Struktural Stability
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 s/d 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Total <i>Inelastic Drift</i>	0,005	0,005 s/d 0,015	No Limit	No Limit

Dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$\text{Maksimum } Drift = \frac{Dt}{HTotal} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Maksimum } Inelastic Drift = \frac{Dt-D1}{HTotal} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

Dt = *Displacement* atap

D1 = *Displacement* lantai 1 (lantai diatas penjepitan lateral)

Tanah Khusus

Jika salah satu dari kondisi berikut ini terpenuhi, maka situs tersebut harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SF, dan dilakukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs.

- Tanah yang rawan dan berpotensi mudah likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, dan tanah tersementasi lemah

- Lempung kadar organik tinggi atau gambut, dengan ketebalan lebih 3 m
- Lempung berplastisitas yang sangat tinggi dengan ketebalan lebih 7,5 m dan indeks plastisitasnya, $PI > 75$)
- Lempung lunak/setengah teguh, dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\overline{Su} < 50$ kPa.

Analisis Pushover

Analisis *pushover* adalah metode statis *non-linear* dimana struktur mengalami pembebanan gravitasi dan pola beban lateral yang dikendalikan perpindahan *monotonic* yang terus meningkat melalui perilaku elastik dan inelastik hingga kondisi akhir tercapai. Analisis *pushover* dapat menampilkan secara visual elemen-elemen struktur yang mengalami kegagalan, sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan melakukan pendetailan khusus pada elemen struktur tersebut.

METODE

Metode pendekatan penelitian yang digunakan bersifat kuantitatif yaitu menganalisis hubungan antara *base force* dengan *displacement* (perpindahan) struktur, dan mengumpulkan data sekunder berupa studi pustaka dari literatur ilmiah dan jurnal yang berkaitan dengan analisis gempa struktur, evaluasi kinerja struktur dan data geometri struktur. Metode analisis yang digunakan yaitu metode analisis statis *non-linear pushover*. Karakteristik tanah khusus yang digunakan yaitu situs lokasi yang memiliki riwayat yang pernah terjadi likuifaksi akibat gempa bumi, seperti Sulawesi Tengah tepatnya di Kota Palu, dikarenakan wilayah tersebut memiliki riwayat pernah terjadi likuifaksi akibat gempa bumi.

Data Geometri Struktur

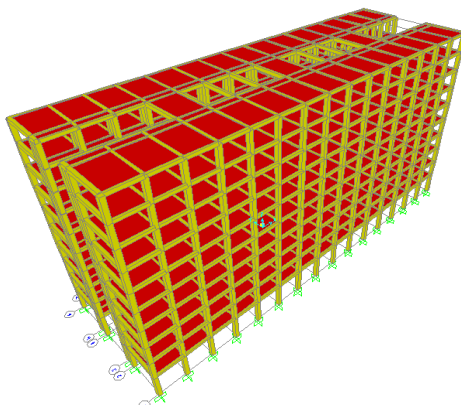
Pada desain struktur bangunan ini, digunakan parameter rencana yang dimodelkan pada struktur bangunan. Adapun data geometri dan gambaran struktur secara umum yaitu sebagai berikut :

Total Panjang	= 75 m
Total Lebar	= 24 m
Tinggi total bangunan	= 41 m
Tinggi lantai tipikal (2-10)	= 4 m
Tinggi lantai dasar	= 5 m
Luas bangunan per lantai	= 1.520 m ²
Material	= K-300 (fc') = 24,90 MPa

Desain geometri pada penelitian ini menggunakan gedung bertingkat dengan elemen struktur yang terbuat dari beton. Bangunan ini direncanakan dengan 10(sepuluh) tingkat dan dapat difungsikan sebagaimana perencanaan bangunan rumah susun.

Permodelan Struktur

Permodelan struktur yang didesain dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. Permodelan bentuk struktur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari *output* analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas dari struktur, yang selanjutnya akan dievaluasi kinerjanya dengan menggunakan ATC-40. Kurva kapasitas dari hasil analisis *pushover* untuk tanah khusus (SF), dari hasil analisis *pushover* didapatkan *step* pola beban dorong yang diberikan pada struktur hingga struktur mengalami keruntuhan, dari *step* pola beban dorong tersebut dapat digambarkan dalam grafik hubungan gaya dan perpindahan terhadap struktur. Adapun *step* pola beban dorong hasil dari analisis *pushover* Tabel 2 dan Tabel 3 dibawah :

Tabel 2. *Output* beban dorong arah X

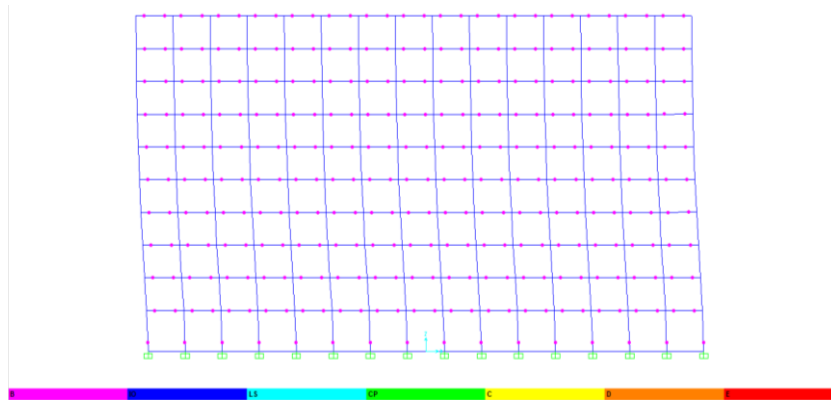
Step	Displacement (m)	Base Force (kN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
0	0,000102	0	11056	0	0	0	0	0	0	0	11056
1	0,009884	3312,396	11052	4	0	0	0	0	0	0	11056
2	0,037495	12221,347	10304	752	0	0	0	0	0	0	11056
3	0,119679	21540,527	7748	3308	0	0	0	0	0	0	11056
4	0,205632	27838,59	7264	3792	0	0	0	0	0	0	11056
5	0,308363	33552,692	7256	3800	0	0	0	0	0	0	11056
6	0,411636	39364,669	7248	3668	140	0	0	0	0	0	11056
7	0,500117	44354,295	7176	2948	932	0	0	0	0	0	11056
8	0,589771	49159,327	6716	3044	1296	0	0	0	0	0	11056
9	0,678325	53535,727	6426	2998	1632	0	0	0	0	0	11056
10	0,761627	57484,889	6200	3204	1648	4	0	0	0	0	11056
11	0,806026	59429,71	6060	3292	1554	150	0	0	0	0	11056

Tabel 3. *Output* beban dorong arah Y

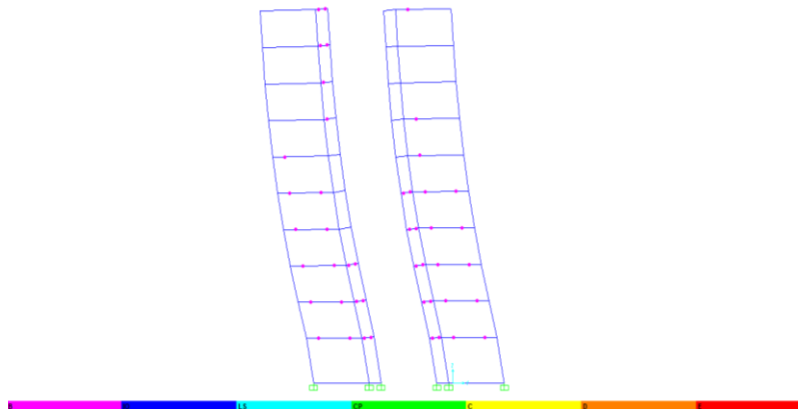
Step	Displacement (m)	Base Force (kN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
0	0,000102	0	11056	0	0	0	0	0	0	0	11056
1	0,000146	4764,534	11048	8	0	0	0	0	0	0	11056
2	0,000282	19886,799	9516	1540	0	0	0	0	0	0	11056
3	0,000283	20061,286	9396	1660	0	0	0	0	0	0	11056
4	0,000283	20125,106	9344	1712	0	0	0	0	0	0	11056
5	0,000283	20219,214	9280	1776	0	0	0	0	0	0	11056
6	0,000283	20323,92	9216	1840	0	0	0	0	0	0	11056
7	0,000281	20541,166	9148	1908	0	0	0	0	0	0	11056
8	0,000281	20615,723	9112	1944	0	0	0	0	0	0	11056

9	0,000279	20789,736	9020	2036	0	0	0	0	0	0	11056
10	0,000279	20848,32	8996	2060	0	0	0	0	0	0	11056
11	0,000279	20972,309	8964	2092	0	0	0	0	0	0	11056
12	0,000282	21544,585	8800	2256	0	0	0	0	0	0	11056
13	0,000284	21799,195	8672	2384	0	0	0	0	0	0	11056
14	0,000285	21867,042	8632	2424	0	0	0	0	0	0	11056
15	0,000285	21931,491	8604	2452	0	0	0	0	0	0	11056
16	0,000284	22068,293	8540	2516	0	0	0	0	0	0	11056
17	0,000284	22118,426	8524	2532	0	0	0	0	0	0	11056
18	0,000284	22160,526	8512	2544	0	0	0	0	0	0	11056
19	0,000285	22256,602	8496	2560	0	0	0	0	0	0	11056
20	0,000287	22387,969	8460	2596	0	0	0	0	0	0	11056
21	0,000385	30013,873	7860	3196	0	0	0	0	0	0	11056
22	0,000515	35939,312	7756	3140	160	0	0	0	0	0	11056

Dari Tabel 2 dan Tabel 3 hasil analisis *pushover* diatas dapat dilihat nilai gaya yang diberikan pada struktur dan nilai perpindahan yang terjadi pada struktur di tanah khusus, diketahui bahwa pada arah X bernilai lebih besar perpindahan yang terjadi daripada arah Y, hal ini terjadi dikarenakan bentuk konfigurasi pada arah X merupakan bentang panjang sedangkan arah Y merupakan bentang pendek struktur, sehingga saat pemberian beban arah Y cenderung lebih lama untuk berdeformasi namun rentan terhadap perubahan dari perilaku elastis ke non elastis. Mekanisme terbentuknya sendi plastis pada arah X dan arah Y dari Tanah Khusus (SF) dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut ini :

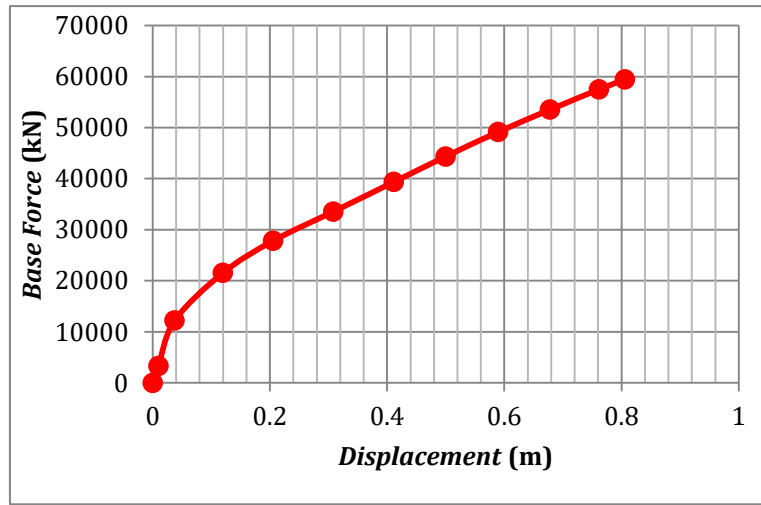


Gambar 3. *Push X Step 4*

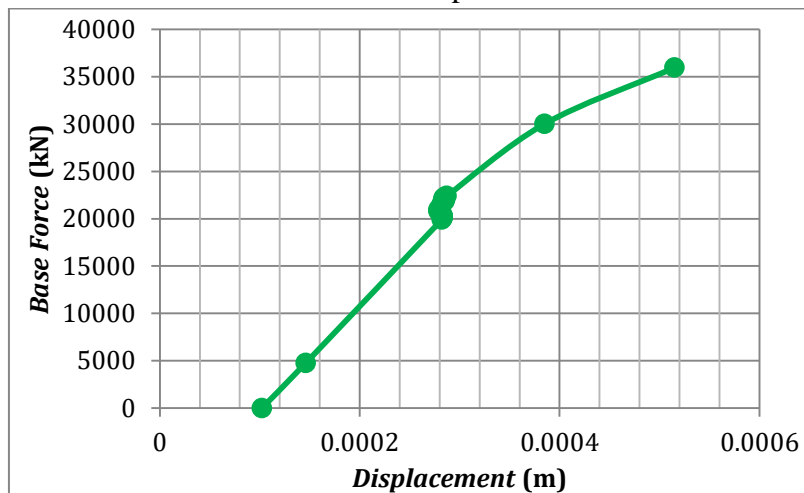


Gambar 4. *Push X Step 4*

Dari hasil beban dorong dibuat grafik perbandingan dari *base force* dan *displacement* dalam bentuk kurva kapasitas arah X dan arah Y seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut ini :



Gambar 5. Kurva Kapasitas Arah X



Gambar 6. Kurva Kapasitas Arah Y

Berdasarkan hasil analisis *pushover* diketahui titik kinerja (*performance point*) struktur untuk pembebanan arah X gedung berada di antara *step* 4 dan *step* 5, sedangkan titik kinerja (*performance point*) struktur untuk pembebanan arah Y gedung mempunyai nilai *displacement* yang sangat kecil dikarenakan bentuk konfigurasi pada arah Y merupakan bentang pendek struktur, sehingga saat pemberian beban arah Y cenderung lebih lama untuk berdeformasi namun rentan terhadap perubahan dari perilaku elastis ke non elastis.

Hasil analisis *pushover* yang menentukan tingkat kinerja struktur menurut ATC-40 dengan menggunakan Tabel 1, parameter yang diperlukan adalah nilai *drift* rata-rata tiap lantai dimana total tinggi lantai yaitu 41 meter, seperti pada Tabel 4 berikut ini :

Tabel 4. Tingkat Kinerja Struktur Analisis *Pushover* Berdasarkan ATC-40

Tipe Tanah	Arah Analisis	Tinggi Struktur	Nilai <i>Drift</i> Rata-Rata	Nilai Kinerja Struktur	Keterangan
------------	---------------	-----------------	------------------------------	------------------------	------------

Tanah Khusus (SF)	Arah X-X	41	0,4026052	0,00982	<i>Damage Control</i>
	Arah Y-Y	41	0,0002964	0,000007229	<i>Immediate Occupancy</i>

Maka dari Tabel 4 sesuai dengan nilai yang ditetapkan pada ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) SP-2.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dari evaluasi kinerja struktur bangunan beton bertulang di tanah khusus berdasarkan metode *pushover* yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil analisis *pushover* diatas dapat dilihat nilai gaya yang diberikan pada struktur dan nilai perpindahan yang terjadi pada struktur di tanah khusus, diketahui bahwa pada arah X bernilai lebih besar perpindahan yang terjadi daripada arah Y, hal ini terjadi dikarenakan bentuk konfigurasi pada arah X merupakan bentang panjang sedangkan arah Y merupakan bentang pendek struktur, sehingga saat pemberian beban arah Y cenderung lebih lama untuk berdeformasi namun rentan terhadap perubahan dari perilaku elastis ke non elastis.
2. Titik kinerja (*performance point*) struktur untuk pembebanan arah X gedung berada di antara *step* 4 dan *step* 5, sedangkan titik kinerja (*performance point*) struktur untuk pembebanan arah Y gedung mempunyai nilai *displacement* yang sangat kecil.
3. Tingkat kinerja struktur analisis *pushover* berdasarkan ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) SP-2.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z., Suyadi., Sebayang, S., 2015. *Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis*. JRSSD, 3(3), 427-440.
- ATC-40., 1996. *Applied Tecnology Council - 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume 1*. California: California Seismic Safety Commision.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Puslitbang Perumahan dan Permukiman., 2019. *Manual Aplikasi Online Spektrum Respons Desain Indonesia 2019*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional., 2019. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Chin, K. H., 2010. Evaluation of Seismic Response of a Site Class F Site Using Equivalent Linear and Nonlinear Computer Codes. In *5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. San Diego, 2010.
- Chopra, A. K ., 2012. *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 4th ed. California: Prentice Hall.
- FEMA 273., 1997. *Federal Emergency Management Agency 273 Nehrp Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C: Federal Emergency Management

Agency.

Sultan. M. A., 2016. *Evaluasi Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Analisa Pushover*. Jurnal Sains, 6(11), 1-8.

Tavio & Wijaya, Usman., 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. 2nd ed. Yogyakarta: ANDI.