

## ANALISIS RESPON DINAMIS STRUKTUR TANAH DI KOTA MATARAM AKIBAT BEBAN GEMPA DENGAN MENGGUNAKAN NERA (*NON-LINIER EARTHQUAKE SITE RESPONSE ANALYSIS*)

Tri Sulistyowati<sup>1\*</sup>, Mudji Wahyudi<sup>1</sup>, Didi S. Agustawijaya<sup>1</sup>, Akmaluddin<sup>1</sup>, Ngudiyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

\*Corresponding Author Email: [trisulistyowati@unram.ac.id](mailto:trisulistyowati@unram.ac.id)

**ABSTRAK.** Gempa Lombok 2018 mengakibatkan kerusakan pada bangunan gedung dan rumah di sebagian besar wilayah Pulau Lombok termasuk di kota Mataram. Kerusakan dan keruntuhan bangunan akibat gempabumi terjadi karena bangunan tidak mampu mengantisipasi getaran tanah (*ground motion*) *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang ditimbulkannya. Besarnya getaran tanah akibat gempabumi dipengaruhi oleh tiga hal, sumber gempa (*source*), jalur penjalaran gelombang (*path*), dan pengaruh kondisi tanah setempat (*site*). Oleh karena itu, dalam perencanaan bangunan tahan gempa salah satu parameter yang dibutuhkan adalah respon dinamis lapisan tanah yaitu percepatan di batuan dasar (*Peak Ground Acceleration* atau PGA) dan percepatan puncak di permukaan tanah (*Peak Surface Acceleration* atau PSA). Respon dinamis tanah tergantung dari jenis tanah atau batuan pada tiap daerah setempat. Analisis dinamis dilakukan menggunakan bantuan program NERA (*Non-Linier Earthquake site Response Analysis*). Tanah dimodelkan berperilaku *equivalent linier model* yaitu menggunakan pendekatan model modifikasi Kelvin-Voight. Data accelerograf menggunakan *event* gempa El-Centro 1940 yang telah disesuaikan dengan *event* gempa Lombok 2018 di kota Mataram dengan PGA pada batuan dasar 0,4g dan redaman 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai percepatan puncak maksimum di permukaan tanah (PSA) adalah antara 0,74 g sampai dengan 0,77g. Nilai PSA ini sedikit lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2019 yaitu sebesar 0,8g pada tanah sedang

**Keyword :** Respon spektrum, *Peak Ground Acceleration*, *Peak Surface Acceleration*, NERA, Mataram

### 1. PENDAHULUAN

Pulau Lombok merupakan daerah rawan gempa, karena dikelilingi oleh beberapa sumber gempa yaitu sesar naik busur belakang Flores (*Flores back arc thrust*) di bagian utara, zona megathrust lempeng Indo-Australia dibagian selatan, dan sistem sesar geser di bagian barat dan timur. Pada tahun 2018 terjadi serangkaian kejadian gempa di Pulau Lombok, setidaknya ada lima kejadian gempa dengan kekuatan yang signifikan. Gempa yang dirasakan pertama kali pada 29 Juli 2018 memiliki magnitudo 6,4 pada kedalaman 14 kilo meter. Gempa ini menyebabkan kerusakan bangunan rumah di Obel-Obel Lombok Timur. Gempa kedua terjadi pada 5 Agustus 2018 dengan magnitudo 6,9 pada kedalaman 34 km. Magnitudo gempa kali ini lebih besar dari gempa pertama. Karena itu, dampak kerusakan bangunan lebih luas, termasuk di Kota Mataram. Bahkan beberapa bangunan pemerintah Provinsi NTB rusak. Kejadian gempa seperti ini tergolong langka, meski ada beberapa referensi yang menjelaskan tentang gempa kembar (*doublet earthquake*), yaitu dua gempa yang terjadi dengan magnitudo yang relatif sama dan posisi yang berdekatan. Berikutnya, pada 9 Agustus 2018, wilayah utara Pulau Lombok kembali diguncang gempa dengan magnitudo 5.9. Posisi sumber gempa berada sekitar 20 km arah barat laut dari gempa 5 Agustus. Dua gempa berikutnya terjadi pada 19 Agustus 2018 dengan magnitudo 6,3 dan 6,9. Episenter kedua gempa ini terlacak di Kecamatan Belanting dan kedalaman yang relatif dangkal, yaitu kurang dari 25 km. Kelima gempa tersebut mempunyai pola seismisitas yang unik dan tidak lazim. Biasanya setelah kejadian gempa dengan kekuatan yang besar, diikuti oleh gempa-gempa susulan dengan kekuatan yang cenderung meluruh. Dalam gempa Lombok terjadi justru sebaliknya, gempa terjadi

secara fluktuatif dan kekuatan gempa setelah gempa pertama cenderung lebih kuat. Sepanjang waktu tiga bulan (Agustus-Oktober 2018), lebih dari 5000 gempa susulan yang terekam dengan magnitudo lebih kecil dari 5,5.

Kejadian gempa merupakan suatu fenomena alam yang sampai saat ini belum dapat diprediksi kejadiannya secara pasti. Untuk itu, upaya penting yang perlu dilakukan adalah mitigasi dan pengurangan resiko yang terjadi akibat gempa. Selain memahami mengenai sumber dan pola gempa, juga sangat perlu untuk menerapkan pembangunan konstruksi yang aman terhadap gempa sebagai bagian dari upaya pengurangan resiko bahaya gempa. Salah satu parameter yang diperlukan dalam perencanaan beban gempa adalah respon dinamis tanah, meliputi percepatan puncak batuan dasar (*Peak Ground Acceleration*), dan percepatan puncak muka tanah (*Peak Surface Acceleration*). Pada kondisi yang sebenarnya jenis tanah/batuan dan kepadatannya akan memberikan respon dinamis yang berbeda-beda. Apabila mengacu pada [1] tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia [2], maka respon dinamis tanah kurang mewakili kondisi daerah tertentu. Untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi lokasi dilakukan dengan meninjau paling sedikit 4 gempa yang berbeda salah satunya diambil dari gempa El Centro 1940. Hal ini akan memberikan hasil perhitungan yang kurang memuaskan karena kurang mewakili kondisi setempat. Oleh karena itu dalam merencanakan bangunan tahan gempa seharusnya data respon dinamis tanah yang digunakan untuk perencanaan adalah data respon dinamis tanah setempat agar diperoleh hasil perencanaan yang lebih mewakili.

Ketersediaan informasi mengenai data respon dinamis tanah yang mewakili kondisi geologi setempat mutlak diperlukan dalam perencanaan struktur dan infrastruktur untuk memperoleh hasil perencanaan yang lebih mewakili dan akurat. Mengingat pentingnya data respon dinamis tanah pada perancangan bangunan tahan gempa maka dilakukan penelitian mengenai respon dinamis tanah terhadap beban gempa di kota Mataram. Analisis respon dinamis struktur tanah akan dilakukan dengan menggunakan bantuan program NERA (*Non-Linear Earthquake site Response Analysis*).

Penelitian mengenai respon dinamis tanah akibat gempa telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain [3], [4], [5]. Menurut [3], respon dinamis akibat beban gempa yaitu PGA (*Peak Ground Acceleration*), PGV (*Peak Ground Velocity*), dan PGD (*Peak Ground Deformation*) akan berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini terlihat jelas pengurangan respon dinamik tersebut pada lapisan yang lebih tipis dibandingkan dengan lapisan yang lebih tebal. Dikatakan juga reduksi amplitude gempa (PGA, PGV, dan PGD) akibat kedalaman dipengaruhi oleh besar gempa dan kondisi geologi setempat (jenis lapisan tanah dan jenis batuan). Sedangkan [4] menyatakan bahwa salah satu parameter yang diperlukan untuk analisis resiko gempa pada lapisan tanah atau struktur adalah gerakan tanah. Beberapa karakteristik gempa untuk analisis resiko, seperti percepatan maksimum di batuan dasar, durasi dan kandungan frekuensi dapat dihasilkan dari data-data gempa terbaru yang lebih akurat. Masing-masing parameter tersebut dapat menimbulkan respon yang berbeda terhadap suatu lapisan tanah atau struktur. Berdasarkan hal-hal tersebut maka dalam pemilihan fungsi atenuasi yang tepat dapat terhindar dari kesalahan perencanaan yang fatal. Prediksi karakteristik dinamik tanah (modulus geser, *bulk modulus*, dan *material damping*) akibat pengaruh vibrasi juga diteliti oleh [5] dengan parameter yang diambil dari pengukuran di lapangan (CPT,

SCPT, SASW) juga tes di laboratorium untuk memperoleh *volumetric mass* dan Poisson rasio pada lokasi proyek Regent's Park London

Penelitian mengenai respon dinamis tanah dengan bantuan program komputer telah dilakukan oleh beberapa peneliti baik dengan memodelkan *properties* tanah *linier* maupun *non linier* antara lain [6] menggunakan program EERA dan [7] menggunakan metode analisis dengan pendekatan non linier menggunakan program NERA.

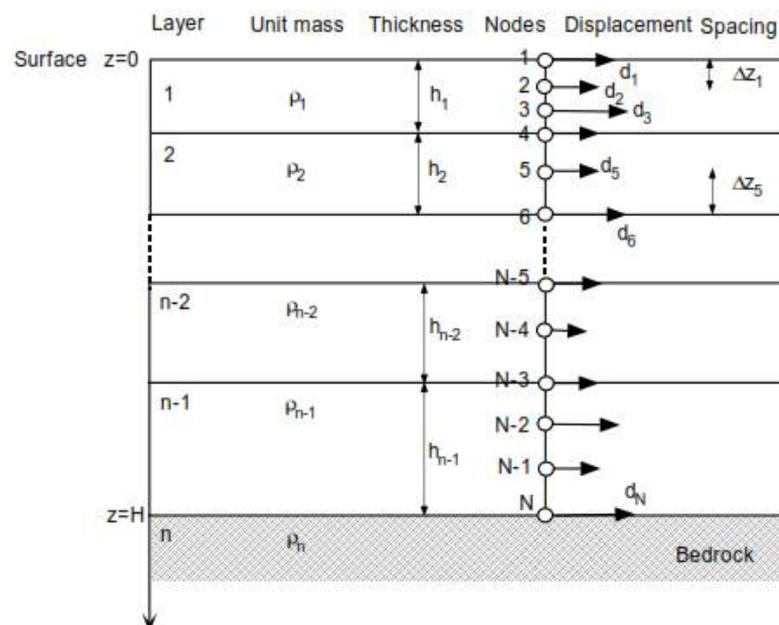
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data input untuk program NERA, antara lain data rekaman *accelerograph* gempa El-Centro untuk mensimulasikan beban gempa sesuai dengan SNI [1] dan profil lapisan tanah dan data sifat-sifat fisik dan mekanis setiap lapisan tanah yang ada di beberapa lokasi di Kota Mataram. Sedangkan untuk analisis percepatan gempa di permukaan (*Peak Surface Acceleration, PSA*) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak program NERA (*Nonlinear Earthquake site Response Analyses*)

### 2.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, pertama tahap pengujian terdiri dari uji pemboran tanah di lapangan untuk mendapatkan nilai N-SPT dan pengujian laboratorium untuk mendapatkan parameter sifat-sifat fisik dan mekanis tanah. Tahap kedua adalah tahap analisis data tanah untuk mendapatkan profil lapisan tanah dan kecepatan gelombang geser yang diperoleh dari korelasi empiris terhadap data hasil pemboran dan uji N-SPT. Kemudian tahap analisis perambatan gelombang gempa yang dilakukan dengan bantuan program NERA [7]. Program ini menerapkan pendekatan domain waktu sifat tanah non linier dimana modulus gesernya turunan fungsi dari peningkatan regangan, sedangkan redaman meningkat sebagai fungsi dari regangan yang meningkat.



Gambar 1. Profil lapisan tanah [7]

Langkah-langkah perhitungan dalam program NERA adalah sebagai berikut [7] :

1. Inisialisasi

$$n=1, \overline{V}_{i,n} = 0 \quad a_{i,n} = 0 \quad d_{i,n} = 0 \quad \tau_{i,n} = 0 \quad \gamma_{i,n} = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad \text{dan} \quad V_{i,0} = 0, a_{i,n} = 0$$

2. Hitung *strain*, *strain increment* dan *stress* ( $i = 1, \dots, N-1$ )

$$\gamma_{1,n} = \frac{d_{i+1,n} - d_{i,n}}{\Delta z_i}, \Delta \gamma_{1,n} = \gamma_{i,n} - \gamma_{i,n-1} \quad \text{dan} \quad \tau_{1,n} = \text{IM}(\tau_{1,n-1}, \Delta \gamma_{1,n})$$

3. Hitung input kecepatan dari data percepatan  $a_{i,n}$

$$V_{i,n} = V_{i,n-1} + \frac{1}{2}(a_{i,n} + a_{i,n-1})\Delta t$$

4. Hitung perkiraan kecepatan

$$\tilde{V}_{N,n+1} = \frac{\tilde{V}_{N,n}(\Delta z_{N-1} - v_s \Delta t) + 4v_s V_{i,n} \Delta t - 2\tau_{N-1,n} \Delta t / \rho_N}{\Delta z_{N-1} + v_s \Delta t} \quad \text{at node } N \text{ (bottom)}$$

$$\tilde{V}_{N,n+1} = \tilde{V}_{i,n} + 2 \frac{\tau_{i,n} - \tau_{i-1,n} \Delta t}{\Delta z_i + \Delta z_{i-1} \rho_i} \quad \text{at node } i = 2, \dots, N-1$$

$$\tilde{V}_{N,n+1} = \tilde{V}_{i,n} + \frac{\tau_{i,n} \Delta t}{\Delta z_i \rho_i} \quad \text{at node } 1 \text{ (permukaan)}$$

5. Hitung *displacement*, kecepatan, dan percepatan ( $i = 1, \dots, N$ )

$$d_{i,n+1} = d_{i,n} + \tilde{V}_{i,n+1} \Delta t$$

$$V_{i,n} = \frac{1}{2}(\tilde{V}_{i,n+1} + \tilde{V}_{i,n})$$

$$a_{i,n} = \frac{1}{\Delta t}(\tilde{V}_{i,n+1} - \tilde{V}_{i,n})$$

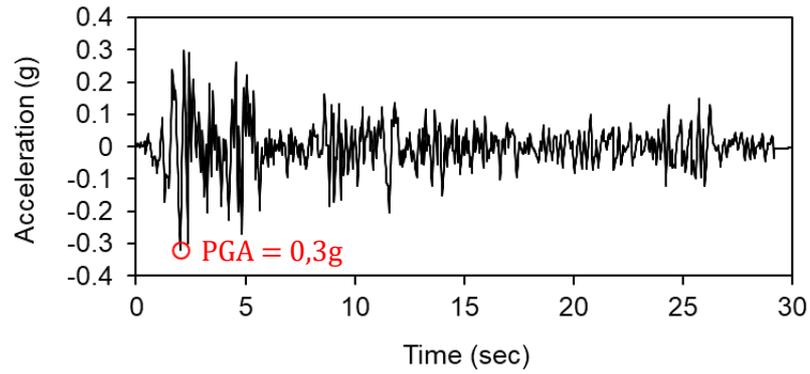
f.  $n \leftarrow n + 1$  goto(2)

6. Untuk analisis respon dinamis tanah dengan program NERA diatas, memerlukan data masukan data kuantitatif (hasil tes laboratorium) maupun dari data seismik antara lain : modulus geser (G), Berat volume tanah, regangan-tegangan, tegangan efektif vertikal, periode dasar, rata-rata kecepatan geser gempa (*shear wave velocity*). Beberapa model tanah yang digunakan dalam program adalah *viscoelastic model*, *equivalent linier model* serta *nonlinier and hysteretic model*. Pada penelitian ini tanah dimodelkan berperilaku *equivalent linier model* yaitu menggunakan pendekatan modifikasi Kelvin-Voight model untuk menghitung beberapa tipe *non linieritas* tanah.

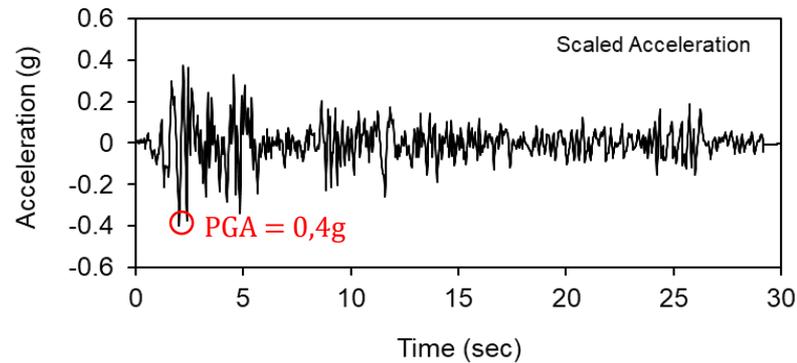
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Accelerograph gempa El Centro disesuaikan dengan kondisi tanah di kota Mataram

Data gempa, berupa besarnya nilai periode dan percepatan gempa dan data tersebut sudah dibuat dalam file dengan extension .acc. Pada penelitian ini digunakan data gempa hasil rekaman gempa El-Centro 1940, yang sudah dikonversi ke file Elcentro.acc. Grafik accelerograph gempa El Centro (Gambar 2) selanjutnya dilakukan penyesuaian dengan kondisi tanah di kota Mataram (Gambar 3)



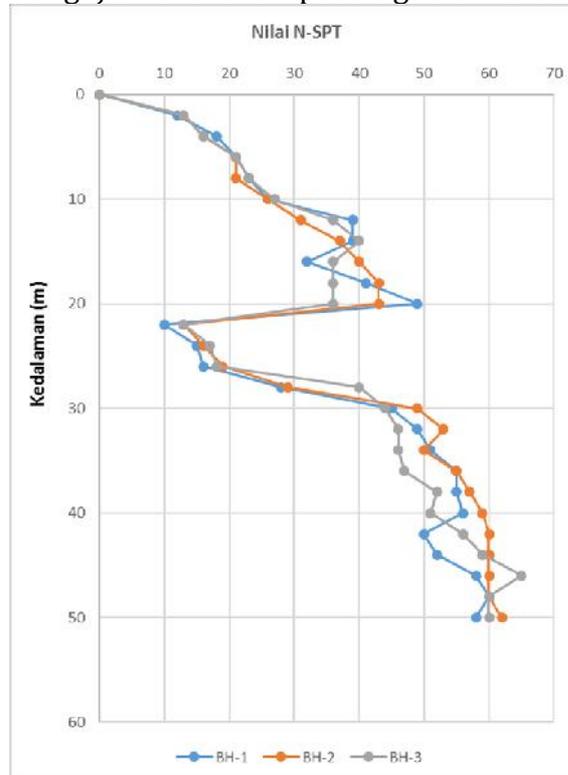
Gambar 2. Accelerograph gempa El Centro



Gambar 2. Accelerograph gempa El Centro disesuaikan dengan kondisi tanah di kota Mataram

### 3.2 Profil Lapisan Tanah di Kota Mataram

Berdasarkan hasil pengujian pengeboran tanah maka diperoleh profil lapisan tanah yang meliputi, kedalaman, berat volume, nilai N-SPT, dan *shear wave velocity* tiap-tiap lapisan tanah. Pengujian dilakukan pada tiga titik lokasi di kota Mataram.



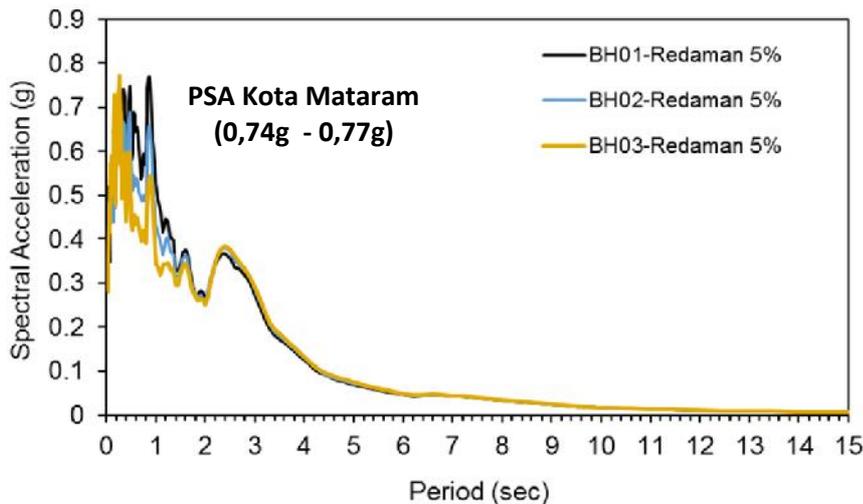
Gambar 3. Grafik nilai N-SPT hasil pengeboran tanah di kota Mataram

Tabel. 1. Data berat volume tanah ( $\gamma_t$ ) dan *shear wave velocity* ( $V_s$ )

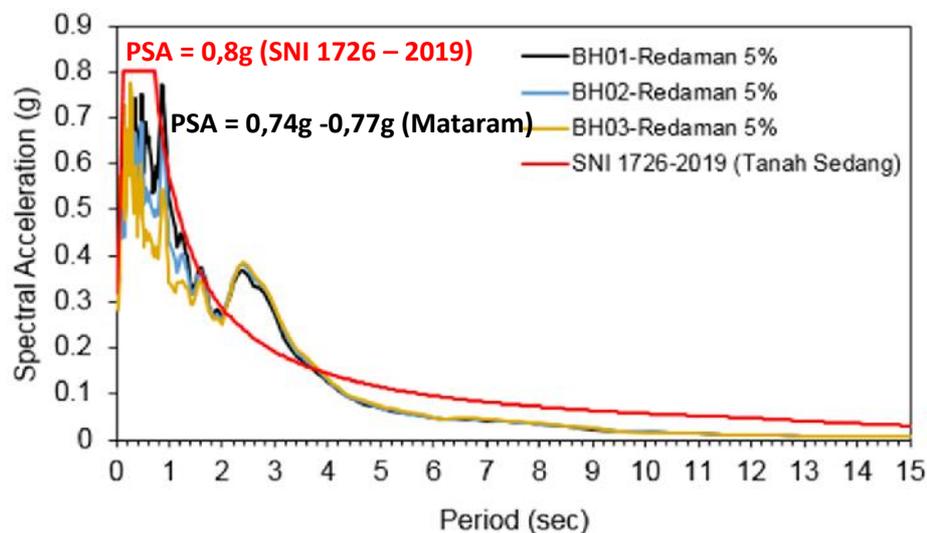
Kedalaman (m)	Nilai Berat Volume, $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )			<i>Shear wave velocity</i> , $V_s$ (m/detik)		
	BH1	BH2	BH3	BH1	BH2	BH3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	16.844	16.981	16.981	152.865	157.712	157.712
4	17.668	17.393	17.393	179.054	171.015	171.015
6	18.080	18.080	18.080	190.149	190.149	190.149
8	18.355	18.080	18.355	197.016	190.149	197.016
10	18.767	18.767	18.905	206.665	206.665	209.730
12	20.553	19.454	20.141	242.071	221.340	234.631
14	20.553	20.279	20.691	242.071	237.152	244.473
16	19.592	20.691	20.141	224.097	244.473	234.631
18	20.828	21.103	20.141	246.839	251.467	234.631
20	21.927	21.103	20.141	264.609	251.467	234.631
22	16.569	16.981	16.981	142.373	157.712	157.712
24	17.256	17.393	17.531	166.764	171.015	175.107
26	17.393	17.805	17.668	171.015	182.870	179.054
28	19.042	19.179	20.691	212.726	215.657	244.473
30	21.378	21.927	21.240	255.965	264.609	253.732
32	21.927	22.477	21.515	264.609	272.832	258.169
34	22.202	22.065	21.515	268.770	266.702	258.169
36	22.752	22.752	21.653	276.802	276.802	260.343
38	22.752	23.027	22.340	276.802	280.685	270.813
40	22.889	23.301	22.202	278.754	284.486	268.770
42	22.065	23.439	22.889	266.702	286.356	278.754
44	22.340	23.439	23.301	270.813	286.356	284.486
46	23.164	23.439	24.126	282.595	286.356	295.437
48	23.439	23.439	23.439	286.356	286.356	286.356
50	23.164	23.714	23.439	282.595	290.042	286.356

### 3.3 Respon Spektrum Gempa di Kota Mataram

Hasil Respon spektrum biasanya digunakan untuk perencanaan gedung bertingkat dengan derajat MDOF (*Multi Degree of Freedom*). Dari data respon spektrum akan dapat diketahui besarnya percepatan maksimum rencana dipermukaan tanah (*Peak Surface Acceleration*, PSA) pada tiga lokasi di kota Mataram berkisar antara 0,74g – 0,77g seperti pada Gambar 4. Sedangkan nilai PSA berdasarkan SNI 1726-2019 di untuk kelas situs tanah sedang adalah 0,8g. Sehingga nilai PSA lapisan tanah di Kota Mataram hampir mendekati nilai PSA berdasarkan SNI 1726-2019.



Gambar 4. Percepatan maksimum rencana dipermukaan tanah (PSA) di kota Mataram



Gambar 5. Perbandingan PSA di kota Mataram dengan SNI 1726 - 2019

#### 4. KESIMPULAN

Input simulasi respon dinamis lapisan tanah setempat (Kota Mataram) dilakukan menggunakan rekaman gempa (*accelerograph*) kejadian gempa El Centro 1940 setelah disesuaikan dengan PGA kondisi setempat. Nilai percepatan puncak maksimum di permukaan tanah (*Peak Surface Acceleration, PSA*) kota Mataram antara 0,74 g sampai dengan 0,77g. Nilai ini hampir mendekati nilai respon spectrum berdasarkan SNI 1726-2019 yaitu sebesar 0,8g pada tanah sedang.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Mataram (LPPM Unram) yang telah memberikan dukungan dana penelitian dari sumber dana DIPA BLU (PNBP) Universitas Mataram Tahun Anggaran 2020.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- [1] Badan Standarisasi Nasional, 2019. SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta, BSN
- [2] Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Bumi Indonesia Tahun 2017, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian PUPR
- [3] Hu Jin-Jun, 2004, Variation of Earthquake Ground Motion With Depth, *Acta Seismologica Sinica*, Vol.18 No.1(72-81) Januari, Cina.
- [4] Irsyam, M., Yuswandono M., Firmansyah J., dan Karjasuparta, S.R., 1999, Analisis Resiko Gempa Untuk Daerah Istimewa Yogyakarta, *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik'99*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- [5] Holscher, P., Hopman V., dan Degrande, G., 2004, The Influence of Dynamic Soil Characteristics on Vibration Predictions, Department of Civil Engineering, K.U. Leuven, Kasteelpark Arenberg 40, B-3001 Leuven, Belgium.
- [6] Priadi, D.A. 2002, Analisa Potensi Liquefaksi di Daerah Maumere Menggunakan Weighting Procedure Berdasarkan Time History Yang Didapat Sebagai Hasil Keluaran Dari Program EERA, *Skripsi*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Parahyangan, Bandung.
- [7] Bardet, J.P. dan Tobita, T., 2001, NERA A Computer Program For Non Linier Earthquake Site Response Analysis of Layered Soil Deposits, *Department of Civil Engineering University of Southern California*.