



TUGAS AKHIR - RF184838

**PENENTUAN *GROUND PROFILE* DAN *PEAK SURFACE ACCELERATION (PSA)* DENGAN METODE INVERSI MIKROTREMOR *SINGLE STATION* UNTUK ZONASI BAHAYA GEMPABUMI PULAU LOMBOK**

ALIFUL CHOIRUL HAKIM  
0341154000052

**DOSEN PEMBIMBING**

Dr. DWA DESA WARNANA  
JUAN PANDU GYA NUR ROCHMAN, S.Si., M.T.

Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



TUGAS AKHIR - RF184838

**PENENTUAN *GROUND PROFILE* DAN *PEAK SURFACE ACCELERATION* (PSA) DENGAN METODE INVERSI MIKROTREMOR *SINGLE STATION* UNTUK ZONASI BAHAYA GEMPABUMI PULAU LOMBOK**

ALIFUL CHOIRUL HAKIM  
0341154000052

**DOSEN PEMBIMBING**

Dr. DWA DESA WARNANA  
JUAN PANDU GYA NUR ROCHMAN, S.Si., M.T.

Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT - RF184838**

**DETERMINATION OF GROUND PROFILE AND PEAK SURFACE ACCELERATION (PSA) USING SINGLE STATION MICROTREMOR INVERSION METHOD FOR EARTHQUAKE HAZARD ZONATION OF LOMBOK ISLAND**

**ALIFUL CHOIRUL HAKIM**  
0341154000052

**ADVISORS**

**Dr. DWA DESA WARNANA**  
**JUAN PANDU GYA NUR ROCHMAN, S.Si., M.T.**

Department of Geophysical Engineering  
Faculty of Civil Environmental and Geo-Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

Tugas akhir ini diajukan oleh

NAMA : Aliful Choirul Hakim  
NRP : 0341154000052  
Departemen : Teknik Geofisika  
Judul Tugas Akhir : PENENTUAN GROUND PROFILE DAN  
PEAK SURFACE ACCELERATION (PSA)  
DENGAN METODE INVERSI  
MIKROTREMOR SINGLE STATION  
UNTUK ZONASI BAHAYA GEMPABUMI  
PULAU LOMBOK

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 16 Juli 2019

- ..... (Pembimbing 1)  
1. Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001
- ..... (Pembimbing 2)  
2. Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si., M.T.  
NIP. 19890612 201504 1 003
- ..... (Penguji 1)  
3. Wien Lestari, S.T., M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003
- ..... (Penguji 2)  
4. Anik Hilyah, S.Si., M.T.  
NIP. 19790813 200812 2 002

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



D. Hoasian Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1 002

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Penentuan *Ground Profile* dan *Peak Surface Acceleration* (PSA) dengan Metode Inversi Mikrotremor *Single Station* untuk Zonasi Bahaya Gempabumi Pulau Lombok” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 16 Juli 2019

Aliful Choirul Hakim  
NRP. 0341154000052

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **Penentuan *Ground Profile* dan *Peak Surface Acceleration* (PSA) dengan Metode Inversi Mikrotremor *Single Station* untuk Zonasi Bahaya Gempabumi Pulau Lombok**

**Nama Mahasiswa : Aliful Choirul Hakim**  
**NRP : 0341154000052**  
**Departemen : Teknik Geofisika**  
**Pembimbing I : Dr. Dwa Desa Warnana**  
**Pembimbing II : Juan Pandu G.N.R., S.Si., M.T.**

## **ABSTRAK**

Terdapat dua fenomena gempabumi yang cukup merusak di tahun 2018 sebesar M 6,4 dan M 7 di Kabupaten Lombok Timur. Namun kerusakan parah terjadi di wilayah Kabupaten Lombok Barat, Kota Mataram, dan Kabupaten Lombok Utara dimana ketiga lokasi tersebut jauh dari episenter gempa. Hal ini membuktikan bahwa potensi kerusakan infrastruktur tidak hanya bergantung pada magnitudo dan fungsi jarak sumber gempa, melainkan adanya *local site effect* atau karakteristik tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dinamis tanah berdasarkan parameter Periode Dominan ( $T_{dom}$ ),  $V_{s30}$ , dan *site classification* serta mendapatkan persebaran nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA). Metode yang digunakan yaitu analisis HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dan inversi kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* dari pengukuran mikrotremor *single station*. Hasil pengolahan yang didapat menunjukkan bahwa Kabupaten Lombok Barat, Kota Mataram, dan bagian barat Kabupaten Lombok Utara didominasi lapisan sedimen yang lunak dibuktikan dengan nilai  $T_{dom}$  relatif tinggi (0,60 detik - 2,16 detik) dan  $V_{s30}$  relatif rendah (185,18 m/s – 460.54 m/s) serta sebagian besar masuk pada kategori kelas situs SD (*stiff soil* / tanah lunak). Model *ground profile* kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) 3D memperlihatkan adanya penebalan sedimen di ketiga wilayah yang sama hingga  $\pm 100$  meter. Sehingga wilayah ini rentan akibat deformasi tanah akibat gempa. Adapun distribusi nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA) didapat berdasarkan pengaruh *site class* terhadap *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan SNI 1726:2012. Pulau Lombok bagian selatan memiliki nilai PSA relatif tinggi untuk semua jenis periode, sedangkan Pulau Lombok bagian barat didominasi nilai PSA periode panjang 1,0 detik ( $S_{M1}$ ). Tingginya nilai PSA berpotensi menimbulkan guncangan tanah yang cukup kuat saat terjadi gempa. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pembuatan desain respon spektra untuk meminimalisir kerusakan infrastruktur gedung berbagai tingkat akibat kejadian gempa.

Kata kunci: Gempabumi, *Ground Profile*, Lombok, PSA

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

***Determination of Ground Profile and Peak Surface Acceleration (PSA) using Single Station Microtremor Inversion Method for Earthquake Hazard Zonation of Lombok Island***

**Name** : Aliful Choirul Hakim  
**Student ID** : 0341154000052  
**Department** : Geophysical Engineering  
**Advisor I** : Dr. Dwa Desa Warnana  
**Advisor II** : Juan Pandu G.N.R., S.Si., M.T.

**ABSTRACT**

*There are two fairly destructive earthquake phenomena in 2018 of M 6.4 and M 7 in East Lombok District. However, severe damage occurred in the West Lombok District, Mataram City, and North Lombok District where the three locations were far from the earthquake epicenter. This proves that the potential for infrastructure damage does not only depend on the magnitude and the earthquake source distance, but rather the presence of local site effects or soil characteristics. This study aims to determine the dynamic characteristics of the soil based on the parameters of Dominant Period ( $T_{dom}$ ),  $V_{s30}$ , and site classification and get the distribution of Peak Surface Acceleration (PSA) values. The method used are HVSR analysis (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) and inversion of Rayleigh wave ellipticity curve from single station microtremor measurements. The results of processing obtained showed that West Lombok Regency, Mataram City, and the western part of North Lombok Regency were dominated by sedimentary layers which were softly proven by relatively high  $T_{dom}$  values (0.60 seconds - 2.16 seconds) and relatively low  $V_{s30}$  (185.18 m / s - 460.54 m / s) and included in the SD (stiff soil / soft soil) site category. The shear wave velocity ( $V_s$ ) 3D ground model shows sediment thickening in the same three regions up to  $\pm 100$  meters. So that this region is vulnerable due to soil deformation due to the earthquake. The distribution of Peak Surface Acceleration (PSA) values is based on the effect of site class on Peak Ground Acceleration (PGA) based on SNI 1726: 2012. The southern part of Lombok Island has a relatively high PSA value for all types of periods, while the western part of Lombok Island is dominated by a long period of 1.0 seconds PSA ( $S_{M1}$ ). The high value of PSA has the potential to cause ground shaking hazard that are strong enough when an earthquake occurs. This research is expected to be a reference for the design of spectra response to minimize damage of building infrastructure at various levels due to earthquake events.*

**Keywords** : Earthquake, Ground Profile, Lombok, PSA

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Penentuan *Ground Profile* dan *Peak Surface Acceleration* (PSA) dengan Metode Inversi Mikrotremor *Single Station* untuk Zonasi Bahaya Gempabumi Pulau Lombok” dapat terselesaikan. Pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ayah, Ibu, dan Adik atas segala doa, pengorbanan, kesabaran, dan kasih sayang yang telah diberikan tanpa rasa lelah.
2. Semua kerabat dan keluarga besar atas motivasi, dukungan, serta doa yang telah disampaikan.
3. Dr. Dwa Desa Warnana dan Juan Pandu G.N.R, S.Si, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan Tugas Akhir sehingga laporan ini dapat terselesaikan
4. Dosen Teknik Geofisika atas bimbingan, arahan, serta ilmu pengetahuan yang telah diberikan
5. Tenaga pendidik atas arahan dan bantuan selama penulis belajar di Departemen Teknik Geofisika ITS
6. Sigit Pramono, M.Si sebagai kepala Sub Bidang Layanan Informasi Seismologi Teknik BMKG Jakarta atas kesempatan dan bimbingan yang telah diberikan untuk bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Fajri Syukur Rahmatullah, S.Si, MT dan Robby Wallansha, S.Tr beserta seluruh staff Sub Bidang Layanan Informasi Seismologi Teknik BMKG Jakarta atas bimbingan teknis yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
8. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2015 (TG04) atas dukungan, semangat, dan kerjasamanya dalam masa perkuliahan.
9. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Terimakasih banyak atas doa dan dukungannya. Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis probadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 12 Juni 2019

Aliful Choirul Hakim  
0341154000052

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Target Luaran .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Daerah Penelitian .....	5
2.4.1 Geologi Regional .....	5
2.4.2 Stratigrafi Regional.....	6
2.4.3 Tektonik Regional.....	9
2.2 <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA)</i> dan <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)</i> .....	10
2.3 Sumber Gempabumi.....	11
2.4 Sesar (Fault) .....	13
2.4.1 Jenis-Jenis Sesar (Fault).....	13
2.4.2 Parameter Sesar.....	14
2.4.3 Pengaruh Jenis Sesar terhadap <i>Seismic Hazard</i> .....	15
2.5 Fungsi Atenuasi (GMPE).....	16
2.6 Metode Mikrotremor .....	17
2.7 Analisis Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) .....	18
2.8 Site Effect.....	19
2.9 Parameter <i>Seismic Hazard</i> .....	21
2.8.1 Frekuensi Dominan (Natural) ( $F_g$ ) .....	21
2.8.2 Periode Dominan (Tdom) .....	23
2.8.3 Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ).....	23
2.8.4 Peak Ground Acceleration (PGA) dan Peak Surface Acceleration (PSA) .....	24
2.9 Inversi <i>Ellipticity Curve</i> Gelombang <i>Rayleigh</i> .....	25
2.10 Penelitian Terdahulu .....	26
BAB III METODOLOGI .....	29
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	29

3.2	Perangkat Lunak .....	29
3.3	Alur Penelitian .....	30
3.4	Data Penelitian .....	31
3.4.2	Data Geologi .....	33
3.4.3	Data PGA (Peak Ground Acceleration) di batuan dasar .....	33
3.5	Pengolahan Data .....	34
3.5.1	Analisis HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) .....	34
3.5.2	Inversi HVSr dengan Pendekatan Kurva Eliptisitas Gelombang <i>Rayleigh</i> .....	37
3.5.3	Perhitungan Nilai Vs30 .....	43
3.5.4	Pembuatan Model 3D Kecepatan Gelombang Geser (Vs) .....	43
3.5.5	Penentuan <i>Site Classification</i> dan Faktor Amplifikasi .....	44
3.6	Penentuan Titik Pengamatan ( <i>Gridding</i> ) .....	46
3.7	Pembuatan Peta dan Analisis Bahaya Gempa .....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		49
4.1	Analisis HVSr .....	49
4.1.1	Penentuan Nilai Amplifikasi dan Frekuensi Natural (F0) .....	49
4.1.2	Karakterisasi Topologi Kurva HVSr .....	50
4.1.3	Distribusi dan Pemetaan Nilai Periode Dominan (Tdom) .....	52
4.2	Inversi HVSr .....	57
4.2.1	Analisis Kurva Eliptisitas Gelombang <i>Rayleigh</i> .....	57
4.2.2	Model Kecepatan Gelombang Geser (Vs) 1D .....	59
4.2.3	Model Kecepatan Gelombang Geser (Vs) 3D dan Analisis Ketebalan Sedimen .....	61
4.2.4	Distribusi dan Pemetaan Nilai Vs30 serta Penentuan <i>Site Classification</i> (Kelas Situs) .....	63
4.3	Pemetaan <i>Peak Surface Acceleration</i> (PSA) serta Spektra Percepatan untuk Periode Pendek (S <sub>MS</sub> ) dan Panjang (S <sub>M1</sub> ) .....	68
4.3.1	Analisis Distribusi Nilai PSA Pendekatan Deterministik .....	68
4.3.2	Analisis Distribusi Nilai PSA Pendekatan Probabilistik .....	71
4.4	Zonasi Bahaya Gempabumi .....	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		79
5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran .....	79
DAFTAR PUSTAKA .....		81
LAMPIRAN .....		85
BIOGRAFI PENULIS .....		93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi Pulau Lombok (Andi dkk., 2014).....	5
Gambar 2.2 Peta dinamika tektonik Banda <i>arc continent</i> (Duffy dkk., 2013) 10	
Gambar 2.3 Ilustrasi Sumber Gempa (M. Irsyam, 2012).....	11
Gambar 2.4 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017 (PUSGEN, 2017) ....	12
Gambar 2.5 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017 (PUSGEN, 2017) ....	13
Gambar 2.6 Diagram alir analisis HVSr (Mufida dkk., 2013).....	18
Gambar 2.7 Penggambaran metode HVSr (Nakamura, 2008) .....	19
Gambar 2.8 Model cekungan yang berisi material sedimen halus (Nakamura,2000) .....	20
Gambar 2.9 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (PUSGEN, 2017) .....	26
Gambar 2.10 Estimasi nilai Vs30 dengan inversi <i>ellipticity curve</i> gelombang .... Rayleigh (Sunardi dkk., 2018).....	27
Gambar 2.11 (a) Persebaran nilai PGA di Pulau Lombok dengan pendekatan persamaan Joyner-Boore (S. Agustawijaya dkk., 2018); (b) Penentuan percepatan maksimum di permukaan dengan pendekatan probabilistik di Kota Mataram (Sunardi dan Nugraha, 2016) .....	28
Gambar 3.1 Peta akuisisi data metode mikrotremor <i>single station</i> wilayah Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat.....	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	30
Gambar 3.3 Data rekaman getaran tanah mikrotremor <i>single station</i> di titik Dasan Taapen .....	32
Gambar 3.4 Peta geologi Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat (Andi dkk., 1994).....	33
Gambar 3.5 Peta persebaran nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar . (PGA) dengan pendekatan probabilistik .....	34
Gambar 3.6 Diagram alir analisis HVSr.....	35
Gambar 3.7 Tahap <i>waveform windowing</i> titik Dasan Taapen .....	36
Gambar 3.8 Kurva eliptisitas H/V terhadap frekuensi .....	38
Gambar 3.9 Penentuan inisiasi parameter Vp dan <i>Poisson's Ratio</i> untuk model awal.....	38
Gambar 3.10 Penentuan inisiasi parameter Vs dan <i>Density</i> untuk model awal	39
Gambar 3.11 Grafik <i>minimum misfit</i> terhadap <i>generated model</i> .....	41
Gambar 3.12 Diagram alir inversi HVSr dengan pendekatan kurva eliptisitas gelombang <i>Rayleigh</i> .....	42
Gambar 3.13 <i>Datasheet velocity model</i> 3D pada jendela <i>RockWorks</i> .....	43
Gambar 3.14 Pembuatan sayatan ( <i>fence</i> ) pada 3D <i>soild model</i> .....	44
Gambar 3.15 Peta titik pengamatan dengan metode <i>Gridding</i> .....	47

Gambar 4.1 Kurva HVSR hasil pengukuran di titik Tanjung. ....	49
Gambar 4.2 Kurva HVSR dengan topologi berbeda di empat titik pengukuran; (a) Batu Jangkih, (b) Pelangan, (c) Medana, dan (d) Tanjung.....	50
Gambar 4.3 Peta distribusi nilai Periode Dominan (Tdom) Pulau Lombok.....	56
Gambar 4.4 <i>Ellipticity Curve</i> gelombang Rayleigh hasil inversi di empat titik pengukuran; (a) Batu Jangkih, (b) Pelangan, (c) Medana, dan (d) Tanjung.....	58
Gambar 4.5 <i>Ellipticity Curve</i> gelombang Rayleigh hasil inversi di empat titik pengukuran; (a) Batu Jangkih, (b) Pelangan, (c) Medana, dan (d) Tanjung.....	60
Gambar 4.6 Model 3D <i>solid</i> bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser (Vs); (a) Model 3D <i>full</i> litologi, (b) Model 3D <i>Engineering Bedrock</i> .....	61
Gambar 4.7 Model 3D <i>slicing</i> bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser (Vs); (a) Model 3D <i>grid slicing</i> , (b) Model 3D <i>cross-section slicing</i> .....	62
Gambar 4.8 Peta distribusi nilai kecepatan gelombang geser rata-rata sedalam 30 meter (Vs30) Pulau Lombok .....	64
Gambar 4.9 Grafik koefisien determinasi antara nilai Vs30 USGS dengan Inversi HVSR .....	65
Gambar 4.10 Peta kelas situs ( <i>site classification</i> ) wilayah Pulau Lombok .....	67
Gambar 4.11 Peta percepatan tanah maksimum di permukaan (PSA) akibat kejadian gempa 5 Agustus 2018 magnitudo 7,0 (BMKG, 2018) .....	70
Gambar 4.12 Peta percepatan tanah maksimum di permukaan untuk periode detik (PSA) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan .....	73
Gambar 4.13 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 0,2 detik ( $S_{MS}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan.....	76
Gambar 4.14 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan .....	77
Gambar 5.1 Model 3D bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser (Vs); (a) Model 3D <i>full</i> litologi, (b) Model 3D <i>Engineering Bedrock</i> ....	89
Gambar 5.2 Model 3D <i>slicing</i> bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser (Vs); (a) Model 3D <i>grid slicing</i> , (b) Model 3D <i>cross-section slicing</i> .....	89
Gambar 5.3 Peta percepatan tanah maksimum di permukaan (PSA) akibat kejadian gempa 5 Agustus 2018 magnitudo 7,0 (BMKG, 2018) .....	90
Gambar 5.4 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 0,2 detik ( $S_{MS}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan.....	90
Gambar 5.5 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan.....	91

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural mikroseismik oleh Kanai yang dikutip dari (Arifin dkk., 2014) .....	22
Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan periode dominan ( $T_{dom}$ ) menurut (Zhao, 2006) .....	23
Tabel 3 1 Data pengukuran mikrotremor <i>single station</i> oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Jakarta Pusat .....	31
Tabel 3 2 Nilai $V_p$ dan $V_s$ untuk batuan vulkanik oleh <i>Press</i> (1966), ..... <i>Christensen</i> (1984), serta <i>Gardner &amp; House</i> (1987).....	40
Tabel 3.3 Proses <i>running</i> inversi eliptisitas gelombang <i>Rayleigh</i> .....	41
Tabel 3.4 Proses <i>running</i> inversi eliptisitas gelombang <i>Rayleigh</i> .....	44
Tabel 3.5 Keofisien situs, $F_a$ (SNI 1726:2012).....	45
Tabel 3.6 Keofisien situs, $F_v$ (SNI 1726:2012).....	46
Tabel 3.7 Keofisien situs, $F_{PGA}$ (SNI 1726:2012).....	46
Tabel 4.1 Hasil analisis HVSr untuk semua titik pengukuran .....	51
Tabel 4.2 Hasil periode dominan ( $T_{dom}$ ) untuk semua titik pengukuran.....	53
Tabel 5 1 Data kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) 1D terhadap kedalaman hasil inversi kurva eliptisitas gelombang <i>Rayleigh</i> .....	85

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pulau Lombok yang terdapat pada Kepulauan Nusa Tenggara Barat merupakan bagian tengah dari Busur Banda yang tersusun oleh gunungapi muda (Darman dan Sidi, 2000) dan terbentuk akibat penyusupan Lempeng Indo-Australia di bawah Busur Sunda-Banda pada zaman Tersier Atas. Kawasan ini mempunyai aktifitas seismik cukup aktif. Hal ini dikarenakan Pulau Lombok diapit oleh dua pembangkit gempabumi dari arah utara dan selatan. Di utara terdapat struktur geologi sesar naik Flores (*Flores Back Arc Thrusting*), sedangkan dari arah selatan adanya zona subduksi lempeng Indo-Australia yang menunjам ke bawah Pulau Lombok. Beberapa hasil yang diperoleh dari pemutakhiran peta gempa nasional dimana input peta gempa daerah Nusa Tenggara – Laut Banda diketahui memiliki 49 sumber gempa (PUSGEN, 2017).

Pusat Studi Gempa Nasional (2017) telah mempublikasikan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang mana diperoleh sebaran nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di seluruh Indonesia. Adapun untuk wilayah Lombok, estimasi nilai percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun adalah 0,4 g - 0,5 g. Selain itu, telah dilakukan juga estimasi persebaran nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar dengan pendekatan deterministik khusus di Pulau Lombok memanfaatkan katalog gempabumi dari BMKG tahun 1970-2016 dengan nilai berkisar 0,008 g – 0,031 g (Elhuda dkk., 2018). Tercatat, terdapat dua fenomena gempabumi yang cukup merusak di tahun 2018 sebesar 6,4 SR dan 7 SR. Sehingga menyebabkan kerusakan yang cukup parah di tiga wilayah, yaitu Kabupaten Lombok Timur, Kabupaten Lombok Utara, dan Kabupaten Lombok Tengah. (BNPB, 2018). Dengan mempertimbangkan kejadian gempa terbaru serta skala penelitian sebelumnya yang masih bersifat regional, maka perlu dilakukan kajian ulang terkait zonasi potensi bencana gempabumi di wilayah yang lebih lokal khusus di Pulau Lombok dengan pendekatan probabilistik. Namun, nilai PGA di batuan dasar sendiri masih belum cukup untuk dijadikan acuan dalam usaha preventif terjadinya kerusakan struktur bangunan akibat gempa. Oleh karena itu, dibutuhkan persebaran nilai PGA di permukaan atau yang biasa disebut dengan *Peak Surface Acceleration* (PSA) dengan memanfaatkan kondisi karakteristik tanah.

Salah satu upaya investigasi untuk mengetahui karakteristik dinamis tanah yaitu dengan mengestimasi nilai kecepatan gelombang geser (Sunardi dkk., 2018). Untuk mendefinisikan kelas situs / *site classification* dalam keperluan geoteknik, umumnya digunakan kecepatan gelombang geser rata-rata di bawah permukaan sedalam 30 meter atau disebut Vs30 (Kanlı dkk., 2006; SNI 1726:2012). Perlunya parameter dinamis tanah ini karena kerusakan yang ditimbulkan akibat gempabumi tidak hanya disebabkan oleh jauh dekatnya lokasi

dengan pusat gempa, tetapi disebabkan oleh beberapa faktor lain seperti kondisi lokal (formasi geologi, maupun kondisi litologi bawah permukaan atau struktur penyusun pada formasi geologi) daerah tersebut (Patimah, 2017). Terdapat beberapa metode untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) seperti *seismic borehole*, namun membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Cara lain seperti seismik refraksi menghasilkan frekuensi gelombang yang tinggi, sehingga tidak dapat terpenetrasi ke lapisan yang sangat dalam. Selain itu, metode seperti MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) dan SASW (*Spectral Analysis of Surface Wave*) yang memanfaatkan dispersi gelombang permukaan cenderung terkendala pada lokasi pengambilan data yang membutuhkan lahan luas untuk penempatan bentangan / *array* sensor seismik itu sendiri (Hobiger dkk., 2013)

Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan yaitu dengan pengukuran mikrotremor single station yang selanjutnya dilakukan inversi dengan pendekatan *ellipticity curve* dari gelombang *Rayleigh*. Metode tersebut mengasumsikan bahwa gelombang permukaan mendominasi data mikrotremor dan bentuk kurva H/V sebagian besar didominasi oleh eliptisitas gelombang *Rayleigh* (Ullah, 2017). Alasan utama penggunaan metode inversi mikrotremor *single station* ini karena biaya yang dibutuhkan tidak banyak, tidak merusak lingkungan, serta cenderung lebih dinamis dan tidak terkendala oleh lahan pengukuran dibandingkan dengan metode *seismic borehole*, refraksi, maupun MASW. Beberapa tahun kebelakang, penggunaan eliptisitas gelombang *Rayleigh* untuk menentukan struktur bawah permukaan semakin sering digunakan. Poggi dkk., (2012) melakukan kajian *seismic hazard* dan mikrozonasi di Lucerne, Swiss dengan menerapkan penggunaan eliptisitas gelombang *Rayleigh*. Dikarenakan *input* data pada proses inversi kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* ini menggunakan kurva H/V, maka perlu dilakukan pengolahan HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Pengolahan ini akan menghasilkan parameter periode dominan ( $T_{dom}$ ) sebagai validasi data pada karakteristik tanah selain digunakannya parameter  $V_{s30}$ .

Penelitian ini pada akhirnya bertujuan untuk menganalisis bahaya gempabumi di Pulau Lombok berdasarkan *ground profile* / karakteristik tanah dan sebaran nilai PSA atau percepatan tanah maksimum di permukaan. Parameter karakteristik dinamis tanah yang digunakan yaitu periode dominan ( $T_{dom}$ ),  $V_{s30}$ , dan *site class*. Sementara itu, distribusi nilai *Peak Surface Acceleration* dilakukan dengan pendekatan probabilistik. Dimana nilai PSA ini merupakan nilai PGA yang dipengaruhi *site local effect* serta memanfaatkan nilai faktor amplifikasi untuk setiap periode berdasarkan *Site Classification* di wilayah penelitian (SNI 1726, 2012). Sehingga dapat diketahui zonasi bahaya gempabumi yang nantinya dapat dijadikan pedoman untuk pengembangan infrastruktur tahan gempa.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, maka dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik tanah berdasarkan persebaran nilai Periode Dominan ( $T_{dom}$ ),  $V_{s30}$ , dan *site class* di Pulau Lombok?
2. Bagaimana persebaran nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA) dan percepatan spektra di Pulau Lombok?
3. Bagaimana zonasi bahaya gempabumi di Pulau Lombok berdasarkan karakteristik (*ground profile*) dan nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA) serta percepatan spektra tanah?

## 1.3 Batasan Masalah

Data sebaran mikrotremor *single station* milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Pusat serta cakupan wilayah hanya pada Pulau Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik tanah (*ground profile*) berdasarkan persebaran nilai Periode Dominan ( $T_{dom}$ ),  $V_{s30}$ , dan *site class* di Pulau Lombok
2. Mengetahui persebaran nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA) dan percepatan spektra di Pulau Lombok
3. Penentuan zonasi bahaya gempabumi di Pulau Lombok berdasarkan karakteristik (*ground profile*) dan nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA) serta percepatan spektra tanah

## 1.5 Target Luaran

Target luaran dari penelitian ini yaitu berupa publikasi ilmiah skala nasional dan internasional untuk mengetahui zona potensi bahaya gempabumi berdasarkan karakteristik tanah dan sebaran nilai percepatan tanah di permukaan (PSA) untuk wilayah Pulau Lombok. Sehingga dapat diketahui daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana gempa bumi. Selain itu, penelitian ini dapat digunakan untuk pembuatan desain respon spektra sebagai pertimbangan dalam perencanaan pengembangan infrastruktur dan bangunan tahan gempa di wilayah setempat.

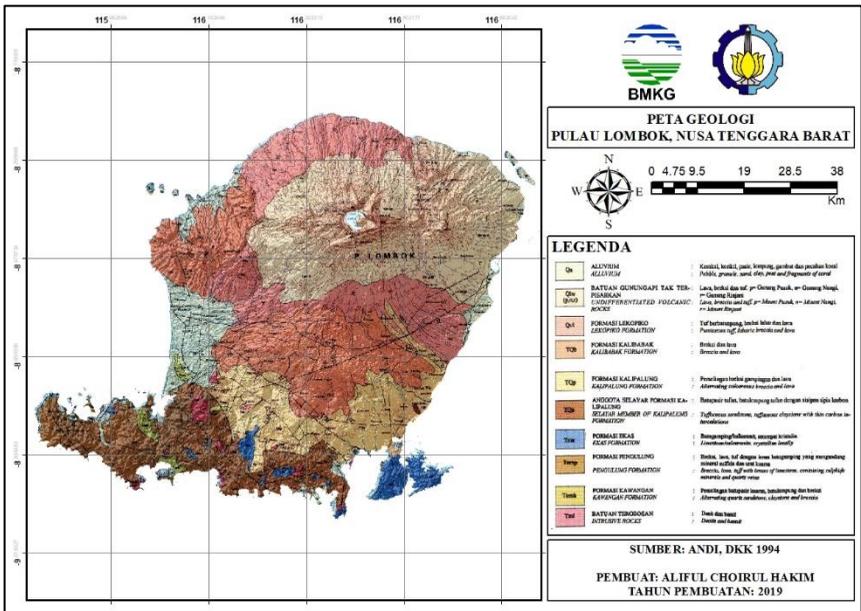
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daerah Penelitian

#### 2.4.1 Geologi Regional

Keadaan geologi wilayah NTB didominasi oleh batuan gunung api serta aluvium (resent). Batuan tertua berumur tersier sedangkan yang termuda berumur kuartar. Batuan tersier di Pulau Lombok terdiri dari perselingan batu pasir kuarsa, batu lempung, breksi, lava, tufa dengan lensa-lensa batu gamping, batu gamping, dan dasit. Batuan tersier di Pulau Sumbawa terdiri dari lava, breksi, tufa, andesit, batu pasir tufan, batu lempung, dasit, tonalit, tufa dasitan, batu gamping berlapis, batu gamping tufan, dan lempung tufan. Batuan kuartar di Pulau Lombok terdiri dari perselingan breksi gampingan dan lava, breksi, lava, tufa, batu apung, dan breksi lahar. Batuan kuartar di Pulau Sumbawa terdiri dari terumbu koral terangkat, epiklastik (konglomerat), hasil gunung api tanah merah, gunung api tua, gunung api Sangiang, gunungapi Tambora, gunung api muda dan batu gamping koral. Aluvium dan endapan pantai cukup luas terdapat di Pulau Sumbawa dan Lombok (RPJM NTB, 2013).



Gambar 2.1 Peta geologi Pulau Lombok (Andi dkk., 2014)

Bagian timur Nusa Tenggara mulai dari Alor-Kambing-Wetar-Romang, disebut orogene timor dengan pusat undasi di L. Flores. Evolusi orogenik daerah

Nusa Tenggara. bagian timur ini agak kompleks karena pada masa Mesozoikum muda terjadi penggelombangan yang termasuk sirkum Australia menghasilkan :

1. Busur Luar, busur luar melalui P. Sawu ke timur laut.
2. Busur Dalam, busur dalam dari P. Sumba ke arah timur laut.

Namun memasuki periode tertier daerah ini mengalami penggelombangan dengan pusat undasi di Laut Flores sebagai bagian dari sistem Pegunungan Sunda. Selain kerawanan seismik akibat aktivitas pertemuan lempeng, Nusa Tenggara Timur juga sangat rawan karena adanya sebuah struktur tektonik sesar naik belakang busur kepulauan yang populer dikenal sebagai back arc thrust. Struktur ini terbentuk akibat tunjaman balik lempeng Eurasia terhadap lempeng Samudra Indo-Australia. Fenomena tumbukan busur benua (arc-continent collision) diduga sebagai pengendali mekanisme deformasi sesar naik ini. Back arc thrust membujur di Laut Flores sejajar dengan busur Kepulauan Bali dan Nusa Tenggara dalam bentuk segmen-segmen, terdapat segmen utama maupun segmen minor. Fenomena sesar naik belakang busur kepulauan ini sangat menarik untuk diteliti dan dikaji mengingat sangat aktifnya dalam membangkitkan gempa – gempa tektonik di kawasan tersebut.

#### **2.4.2 Stratigrafi Regional**

Adapun rangkuman penjelasan dan pengklasifikasian batuan serta litologi Pulau Lombok menurut resume hasil kegiatan pemetaan geologi teknik Pulau Lombok oleh Wafid dkk. (2014) adalah sebagai berikut:

- a. Kelompok Endapan Aluvium (Al)  
Merupakan endapan sungai, pantai dan rawa, terdiri dari pasir lanauan, lanau pasiran - lanau lempungan dan pasir lepas. Endapan rawa berupa lanau pasiran - lanau lempungan, berwarna abu-abu kehitaman, berbutir halus sedang, sangat lunak - agak teguh, porositas sedang - tinggi. Endapan sungai berupa Lanau pasiran - lanau lempungan dan pasir lepas. Lanau pasiran - lanau lempungan, berwarna kuning kecoklatan - coklat, berbutir halus - sedang, mengandung kerikil, sangat lunak - padat, plastisitas rendah-sedang, tebal 3,50 - 6,50 m. Endapan pantai berupa pasir, berwarna abu-abu kehitaman, berbutir halus, porositas tinggi, mengandung cangkang kerang.
- b. Kelompok Batuan Gunung Api Tak Terpisahkan (Vr)  
Merupakan hasil kegiatan Gunungapi Pusuk (Qhvp), Nangi (Qhvn) dan Rinjani (Qhvr), terdiri dari lava, breksi dan tufa. Lava, berwarna abu abu kehitaman, keras, menunjukkan struktur skorja, kadang - kadang dijumpai sebagai batuguling dan pada tebing tebing terjal dijumpai kekar. Breksi, berwarna abu abu kehitaman, menyudut, fragmen andesit, keras dan kompak. Tufa, berwarna putih kekuningan, mudah hancur, berukuran pasir halus hingga sangat kasar dan dijumpai

fragmen batu apung. Tanah pelapukan berupa lanau pasiran - pasir lanauan berwarna coklat kekuningan - coklat keabuan, halus - sedang, agak teguh - teguh, keadaan kering sangat teguh, plastisitas rendah, uji penetrometer saku 2,00 - 2,75 kg/cm<sup>2</sup>, tebal 1.50 – 4.50 m.

c. Kelompok Tufa Batuapung (Vt)

Merupakan Batuan Vulkanik Kuarter dari Formasi Lekopiko (Qv1), terdiri dari tufa batu apung, breksi lahar dan lava. Tufa batu apung berwarna putih kekuningan, kurang kompak berukuran halus hingga kasar, mudah lulus air. Breksi lahar, berwarna abu - abu kehitaman, fragmen batuan beku andesit, menyudut, kurang kompak. Lava, berwarna abu-abu muda - kehitaman, vesikuler, berstruktur aliran, kompak dan keras. Tanah pelapukan berupa lanau pasiran - lanau lempungan, berwarna coklat kekuningan - coklat kemerahan, lunak - agak lepas, plastisitas rendah - non plastis, ketebalan tanah 1,50 - 3,50 m. Penggalian mudah hingga agak sukar dilakukan dengan peralatan sederhana, muka air tanah bebas dalam sampai sangat dalam ( 5 - >20 m).

d. Kelompok Breksi dan Lava (Bx, Lv)

Merupakan batuan vulkanik hasil kegiatan gunungapi pada masa Plio-Plistosen dan Oligo-Miosen yang termasuk dalam Formasi Kalibabak (TQb), Formasi Kalipalung (TQp) dan Formasi Pengulung (Tomp). Formasi Kalibabak (TQb) terdiri dari breksi dan lava. Breksi, berwarna abu-abu kecoklatan, fragmen batuan beku andesit dengan ukuran kerikil hingga bongkah, menyudut, pemilahan buruk, kompak, keras. Lava, berwarna abu-abu kehitaman, bersusunan andesit-basal, keras dan kompak. Formasi Kalibabak (TQb) terdiri dari breksi dan lava. Breksi, berwarna abu-abu kecoklatan, fragmen batuan beku andesit dengan ukuran kerikil hingga bongkah, menyudut, pemilahan buruk, kompak, keras. Lava, berwarna abu-abu kehitaman, bersusunan andesit-basal, keras dan kompak. Tanah pelapukan berupa lempung lanauan, lempung pasiran, dan pasir lanauan - pasir. Lempung lanauan - lempung pasiran, berwarna abu-abu, halus, lengket, lunak - agak teguh, plastisitas tinggi dengan tebal 3 – 4 meter. Pasir lanauan - pasir, berwarna abu-abu kehitaman - coklat kehitaman, halus - kasar, lunak - agak lepas, porositas sedang - tinggi, tebal 1,50 - 3,50 m.

Formasi Kalipalung (TQp), terdiri dari perselingan antara breksi gampingan dan lava. Breksi gampingan, berwarna abu-abu, fragmen terdiri dari batuan beku andesitbasalt dengan ukuran kerikil hingga bongkah, masa dasarnya berupa tufa gampingan, semen karbonat, keras dan kompak. Lava, berwarna abu-abu kehitaman, bersusunan andesit-

basal, kompak dan keras. Tanah pelapukan umumnya berupa lanau pasiran - pasir lanauan dan lempung lanauan - lempung pasiran. Lanau pasiran - pasir lanauan, berwarna abu-abu kehitaman, lunak - teguh, keadaan kering mudah pecah, plastisitas rendah - sedang, mengandung kerikil, tebal tanah 3,00 - 5,25 meter.

Formasi Pengulung (Tomp), terdiri dari breksi lahar, lava dan tufa. Breksi lahar berwarna abu-abu kehitaman, fragmen batuan beku andesit, keras - agak rapuh. Lava berwarna abu-abu kehitaman, kompak, keras. Tufa, berwarna abu-abu muda hingga kehijauan, setempat mengandung pirit, rapuh. Tanah pelapukan berupa lempung lanauan - lempung pasiran, berwarna coklat kekuningan - coklat kemerahan, lunak - agak teguh, plastisitas sedang - tinggi, tebal tanah 3,00 - 3,75 m.

e. Kelompok Batu Gamping (Ls)

Merupakan batuan dari Formasi Ekas (Tme), terdiri dari batu gamping pasiran, batugamping kristalin dan batu gamping terumbu, yang berumur Miosen Atas. Secara umum batu gamping berwarna putih kekuningan - putih keabuan, kompak, keras, setempat terdapat rongga dan terkekarkan. Tanah pelapukan berupa lempung pasiran, berwarna kuning kemerahan, agak gembur, sarang dan sedikit mengandung fragmen batu gamping berukuran kerikil - kerakal.

f. Kelompok Batu Pasir (Ss)

Merupakan batuan sedimen dari Formasi Kawangan (Tomk), terdiri dari perselingan batupasir, batulempung dan breksi. Batu pasir berwarna abu-abu kekuningan, berbutir halus - kasar, terpilah sedang, membulat - membulat tanggung, agak rapuh. Batulempung, berwarna kuning kehijauan sampai abu-abu tua, rapuh dan mudah hancur. Breksi berwarna abu-abu kehitaman, fragmen batuan beku andesit, menyudut, keras, setempat dijumpai sisipan tufa dan batu lempung. Tanah pelapukannya berupa lanau pasiran merupakan hasil pelapukan lanjut dari batu pasir kuarsa dan breksi. Lanau pasiran berwarna merah kehitaman, lunak - agak teguh, ketebalan tanah antara 1.00 - 1,50 meter.

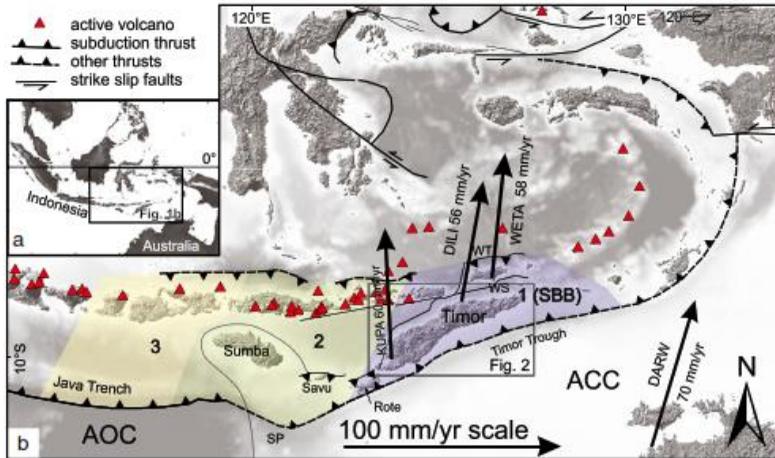
g. Kelompok Batuan Beku (Is)

Merupakan batuan terobosan (Tmi), terdiri dari batuan beku dasit dan basalt. Dasit, berwarna abu-abu muda, bertekstur afanitik hingga porfiritik, keras. Basalt, berwarna abu-abu tua hingga kehitaman, bertekstur halus dengan masa dasar gelas dan bervesikuler, keras. Tanah pelapukannya berupa lempung lanauan, coklat kemerahan, agak teguh - teguh, plastisitas rendah sampai sedang, tebal tanah kurang dari 1,00 m.

### **2.4.3 Tektonik Regional**

Secara fisiografi, kepulauan Nusa Tenggara dibatasi oleh bagian barat Jawa, di bagian timur oleh Busur Banda, di bagian utara oleh Laut Flores dan di bagian selatan oleh Samudera Hindia. Secara geologi kepulauan ini terletak di pusat Busur Banda, yang terbentuk oleh rangkaian kepulauan gunung api muda. Secara tektonik, rangkaian gunung ini akibat subduksi lempeng Indo - Australia terhadap busur banda. Sebagian besar busur dari kepulauan Nusa Tenggara dibentuk oleh zona subduksi dari lempeng Indo-australia yang berada tepat dibawah busur Sunda-Banda selama di atas kurun waktu tertier yang mana subduksi ini dibentuk di dalam busur volcanik kepulauan Nusa Tenggara.

Bagian timur Nusa Tenggara mulai dari Alor-Kambang-Wetar-Romang, disebut orogene timor dengan pusat undasi di Laut Flores. Evolusi orogenik daerah Nusa Tenggara. Bagian timur ini agak kompleks karena pada masa Mesozoikum muda terjadi penggelombangan yang termasuk sirkum Australia menghasilkan; (1) Busur Luar, busur luar melalui P. Sawu ke timur laut, (2) Busur Dalam, busur dalam dari P. Sumba kearah timur laut. Namun memasuki periode tertier daerah ini mengalami penggelombangan dengan pusat undasi di Laut Flores sebagai bagian dari sistem Pegunungan Sunda. Selain kerawanan seismik akibat aktivitas pertemuan lempeng, Nusa Tenggara Timur juga sangat rawan karena adanya sebuah struktur tektonik sesar naik belakang busur kepulauan yang populer dikenal sebagai back arc thrust. Struktur ini terbentuk akibat tunjaman balik lempeng Eurasia terhadap lempeng Samudra Indo-Australia. Fenomena tumbukan busur benua (arc-continent collision) diduga sebagai pengendali mekanisme deformasi sesar naik ini. Back arc thrust membujur di Laut Flores sejajar dengan busur Kepulauan Bali dan Nusa Tenggara dalam bentuk segmen-segmen, terdapat segmen utama maupun segmen minor. Fenomena sesar naik belakang busur kepulauan ini sangat menarik untuk diteliti dan dikaji mengingat sangat aktifnya dalam membangkitkan gempa – gempa tektonik di kawasan tersebut.



Gambar 2.2 Peta dinamika tektotnik Banda arc continent (Duffy dkk., 2013)

## 2.2 *Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) dan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*

Konsep dasar DSHA adalah menentukan parameter ground motion dengan menggunakan magnitudo gempa maksimum dan jarak sumber gempa yang paling dekat dari titik pengamatan. DSHA diimplementasikan dengan menentukan skenario parameter gempa dengan cara memilih magnitudo maksimum dan lokasi terdekat dari sumber gempa yang diperkirakan akan menghasilkan dampak pada titik pengamatan (Windu dkk., 2015).

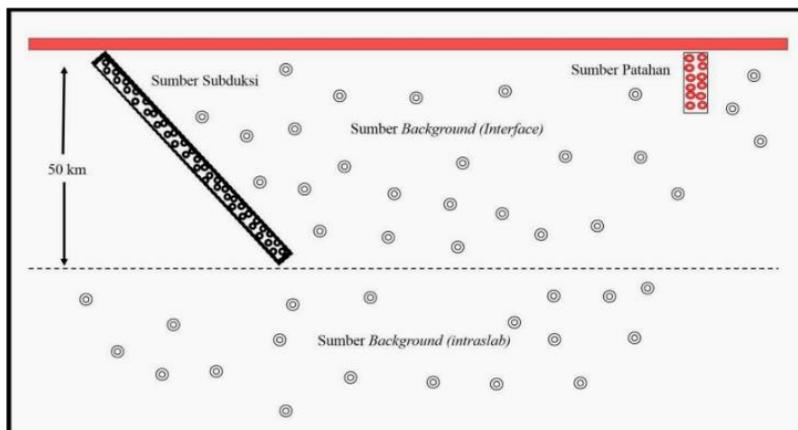
Secara umum metode pendekatan DSHA dapat dibagi menjadi empat tahapan yaitu: melakukan identifikasi terhadap sumber-sumber gempa yang kemungkinan akan berpengaruh pada lokasi pengamatan, menentukan skenario parameter gempa dengan cara memilih magnitudo maksimum dan lokasi terdekat dari sumber gempa yang diperkirakan akan menghasilkan dampak pada lokasi pengamatan, menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi dan menentukan parameter gerakan tanah yang terbesar yang direncanakan akan terjadi pada lokasi pengamatan. DSHA dilakukan dengan menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi (Irsyam, 2010).

Sedangkan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)* adalah suatu metode untuk mengukur kemungkinan (atau probabilitas) dari berbagai tingkat gerakan tanah di suatu tempat (atau peta tempat) dengan diberikan berbagai scenario kemungkinan terjadinya gempa bumi. *Peak Ground Acceleration (PGA)* telah digunakan untuk mengukur pergerakan tanah pada metode PSHA (ini digunakan untuk menentukan kekuatan lateral dan tegangan geser pada prosedur kesetaraan gaya statik dari beberapa kode bangunan, dan dalam analisis

likuifaksi). Perhitungan PSHA meliputi beberapa tahapan, yaitu: mengidentifikasi semua sumber gempa yang mampu menghasilkan gerakan tanah yang merusak. Berbeda dengan DSHA yang hanya menggunakan sumber gempa spesifik saja, metode PSHA memperhitungkan berbagai jenis sumber gempa di lokasi sekitar penelitian. Setelah itu, dilakukan karakterisasi distribusi besaran gempa (laju dimana gempa bumi dengan berbagai perkiraan magnitudo yang akan terjadi) serta identifikasi jarak sumber gempa ke lokasi. Kemudian memprediksi distribusi intensitas gerakan tanah yang dihasilkan sebagai fungsi dari magnitudo gempa bumi, jarak, dll. Terakhir yaitu Menggabungkan ketidakpastian dalam ukuran gempa, lokasi dan intensitas gerakan tanah, menggunakan perhitungan yang dikenal sebagai teorema probabilitas total (PUSGEN, 2017).

### 2.3 Sumber Gempabumi

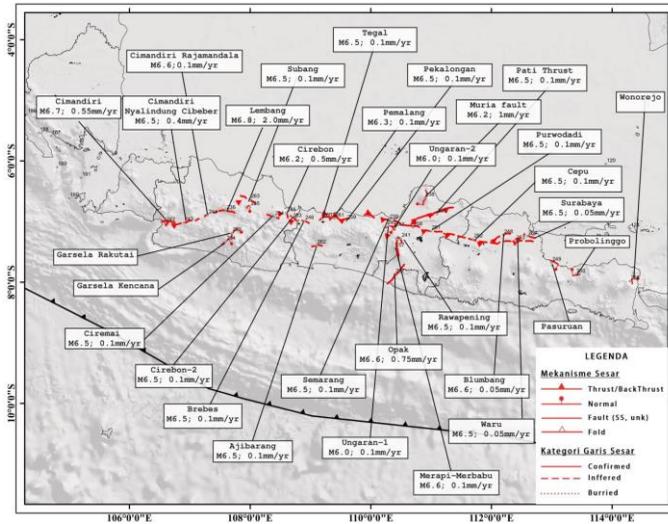
Zona sumber gempa merupakan area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana disetiap titik di zona tersebut memiliki kemungkinan yang sama akan terjadinya gempa dimasa mendatang. Sumber gempa dari zona fault atau sesar yang terdapat di lempeng tektonik dalam perkembangannya juga mengalami pergerakan dan juga akan memberikan kontribusi terhadap kejadian gempa. Gambar 2.3 menjelaskan mekanisme pergerakan fault yang berupa srikeslip, reverse dan normal. Selain itu juga sumber gempa subduksi, zona subduksi utama wilayah Indonesia tersebut merupakan zona-zona sumber gempa yang memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kejadian gempa yang telah lalu dan yang akan datang.



Gambar 2.3 Ilustrasi Sumber Gempa (M. Irsyam, 2012)

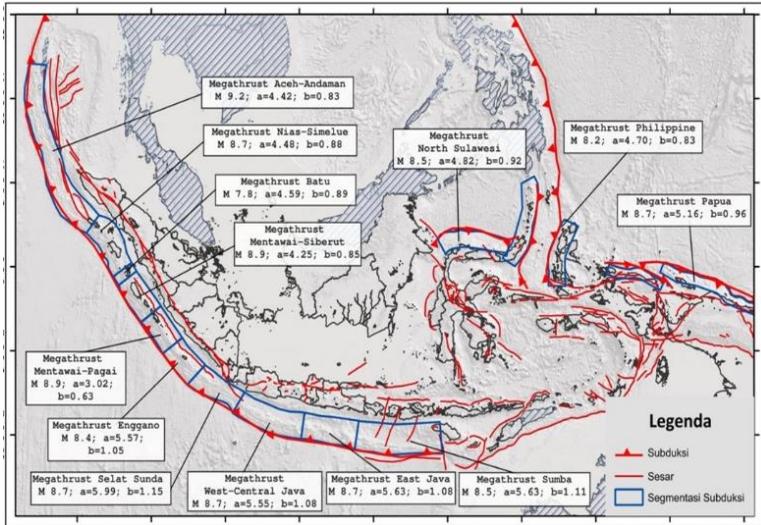
Sumber gempa dalam seismic hazard analysis dibagi menjadi tiga, antara lain:

1. Zona patahan (*fault*) yaitu zona kejadian gempa patahan dangkal (*shallow crustal fault*) dengan mekanisme *strike-slip*, *reverse*, atau normal yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas, termasuk soal mekanisme *slip-rate*, *dip*, panjang patahan dan lokasinya. Sumber gempa patahan dangkal dimodelkan hingga kedalaman 15 km, seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017 (PUSGEN, 2017)

2. Zona subduksi (Megathrust) terjadi karena gerakan menunjam dari litosfer samudera terhadap litosfer daratan, hal ini terjadi karena kepadatan relatif litosfer samudera lebih besar dan karakter astenosfer yang relatif lemah. Rate dari subduksi dapat berupa *recurrence rate*  $M_{max}$  untuk model karakteristik yang diambil dari data historis. Batas kedalaman maksimum dari sumber gempa ini dimodelkan hingga 50 km atau merupakan daerah Megathrust. Untuk daerah yang lebih dalam (>50 km) atau daerah *Benioff* diwakili oleh model sumber gempa deep background dimana gempa-gempa yang terjadi merupakan gempa *intraslab* karena pada kedalaman tersebut kondisi batuan lebih *ductile* sehingga mekanisme gempa yang terjadi bukan merupakan akibat pertemuan antara dua permukaan bidang lempeng, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.5 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017 (PUSGEN, 2017)

3. Zona background yaitu sumber gempa yang belum diketahui secara jelas. Tetapi pada tempat tersebut didapati adanya beberapa kejadian gempa (kejadian gempa yang belum diketahui besarnya). (Kramer dan Steven, 1996).

## 2.4 Sesar (Fault)

Sesar atau patahan merupakan retakan pada batuan bumi yang diakibatkan oleh gerakan menggeser secara vertikal atau horizontal sehingga terjadi pergerakan relatif terhadap blok batuan di sekitar sesar tersebut (Massinai, 2015).

### 2.4.1 Jenis-Jenis Sesar (Fault)

Ada tiga jenis sesar yaitu sesar mendatar, sesar naik, dan sesar turun. Selain ketiga jenis sesar tersebut, dikenal pula sesar yang merupakan kombinasi antara sesar mendatar dan sesar naik/turun yang disebut oblique fault.

1. Sesar Naik (Thrust Fault)

Merupakan jenis sesar dengan salah satu blok batuan bergeser ke arah atas dan blok bagian lainnya bergeser ke arah bawah di sepanjang bidang sesarnya. Pada umumnya bidang sesar naik mempunyai kemiringan lebih kecil dari  $45^{\circ}$ .

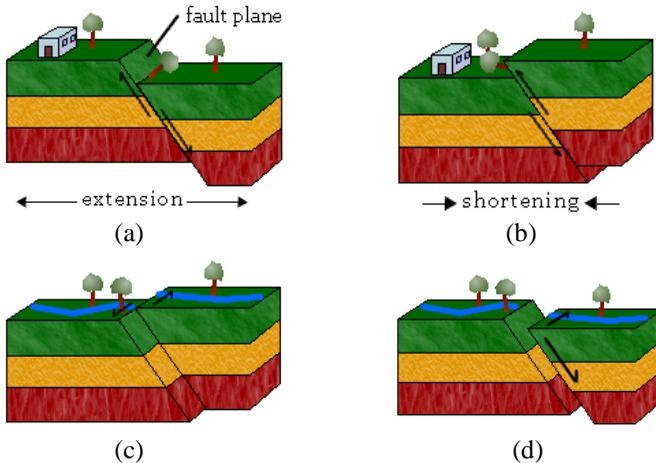
2. Sesar Turun (Normal Fault)

Merupakan sesar yang terbentuk karena pergeseran blok batuan akibat pengaruh gaya gravitasi. Secara umum, sesar normal

terjadi sebagai akibat dari hilangnya pengaruh gaya sehingga batuan menuju ke posisi seimbang (isostasi).

### 3. Sesar Mendatar (Strike-slip Fault)

Merupakan sesar yang pergerakannya sejajar, blok bagian kiri relatif bergeser kearah yang berlawanan dengan blok bagian kanannya. Berdasarkan arah pergerakan sesarnya, sesar mendatar dibagi menjadi dua macam, antara lain: Sesar Dextral (sesar menganan) dan Sesar Sinistral (sesar mengiri). Sedangkan sesar yang pergeserannya membentuk sudut tertentu disebut sesar oblique.



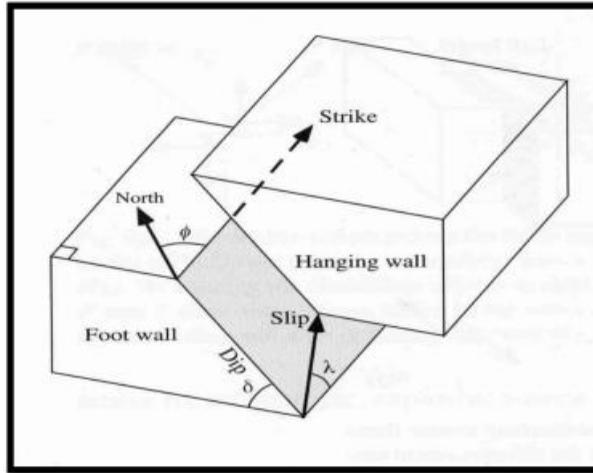
Gambar 2.6 (a) Sesar Normal, (b) Sesar Naik, (c) Sesar Mendatar, (d) Sesar *Oblique*.

#### 2.4.2 Parameter Sesar

Jika terdapat sesar di lokasi tertentu, maka perlu diidentifikasi parameter-parameter sesar tersebut yang kemudian diketahui jenisnya. Orientasi sesar ditentukan beberapa parameter tertentu seperti strike (jurus)  $\Phi$ , dan dip (kemiringan)  $\delta$ . Kemudian salah satu dari plunge atau rake digunakan untuk menentukan arah slip. Sesar memiliki dua permukaan yaitu footwall dan hanging wall, dimana slip sebagai arah hanging wall relative terhadap foot wall. Rake ( $\lambda$ ) sudut antara arah strike dan slip. Adapun penjelasan beberapa parameter diatas adalah sebagai berikut:

1. Strike ( $\Phi$ ) merupakan sudut yang dibentuk antara jurus sesar dengan arah utara, diukur searah jarum jam ( $0^{\circ} \leq \Phi \leq 360^{\circ}$ ).
2. Dip ( $\delta$ ) merupakan sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal diukur dari permukaan horizontal ( $0^{\circ} \leq \delta \leq 90^{\circ}$ ).
3. Rake merupakan sudut yang dibentuk oleh arah strike dengan arah slip.

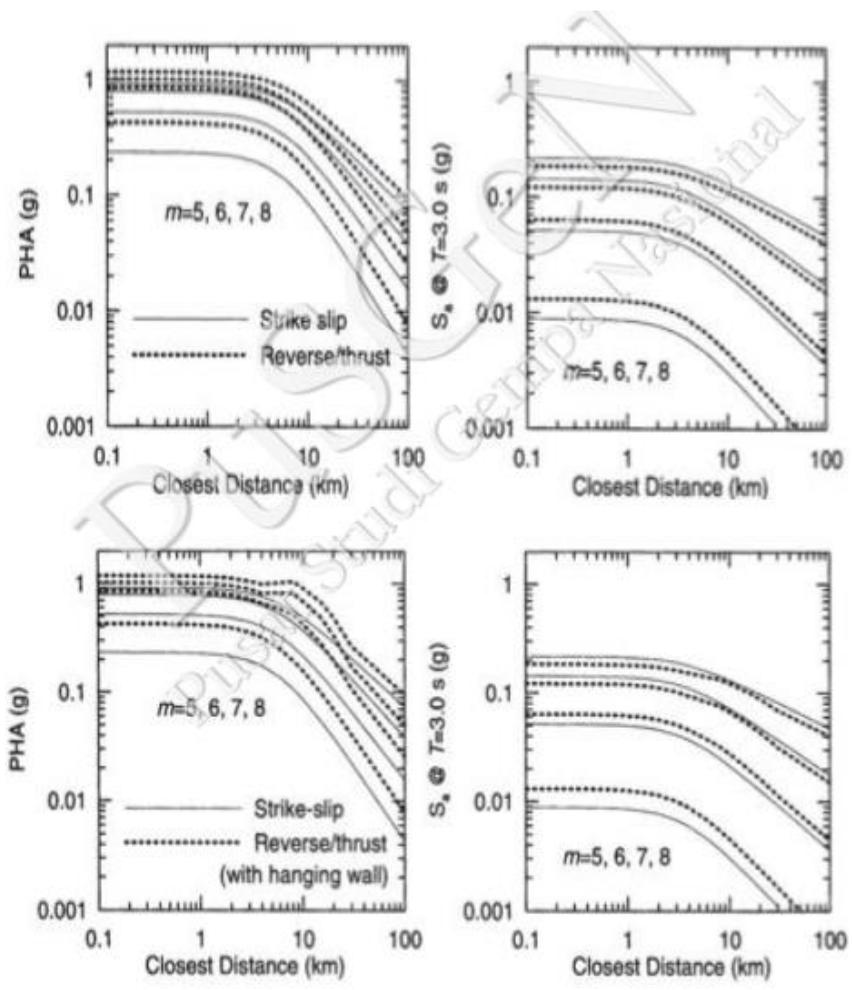
4. Pergeseran relative (slip) ( $\lambda$ ) adalah pergeseran relative pada sesar yang diukur dari satu blok ke blok lain pada bidang sesar. Slip merupakan pergeseran titik yang sebelumnya berimpit. Slip angle ( $\lambda$ ), dimana arah slip didasarkan pada arah gerak hanging wall, ( $-180^0 \leq \lambda \leq 180^0$ ). Jika sesar berupa thrust fault  $\lambda > 0^0$ , sedangkan jika sesar normal fault maka  $\lambda < 0^0$ .



Gambar 2.7 Arah atau orientasi sesar (Gok, 2008)

### 2.4.3 Pengaruh Jenis Sesar terhadap *Seismic Hazard*

Jenis penyesaran atau patahan pada suatu sumber gempa memberikan pengaruh pada tingkat guncangan tanah. Sebagai contoh, secara umum mekanisme sumber gempa berjenis *reverse fault* memberikan nilai spectral akselerasi yang lebih tinggi dibanding dengan gempa bertipe *strike-slip*. Abrahamson dan Silva (1997) membandingkan nilai *Peak Horizontal Acceleration* (PHA) dan spektral akselerasi pada daerah shallow crustal pada *active region* untuk gempa bertipe *reverse fault* dan *strike-slip*. Gambar 2.8 menunjukkan hasil penelitian Abrahamson dan Silva (1997) tentang perbedaan nilai PHA pada sumber gempa shallow crustal fault untuk dua mekanisme kegempaan *reverse* dan *strike-slip*. Perbedaan nyata nilai PHA dan spektral akselerasi dapat dilihat terutama pada bagian *hanging wall* (bagian tanah pada blok yang terdorong ke atas). Menurut kedua peneliti tersebut, *reverse fault* memberikan nilai lebih tinggi karena adanya kondisi bebas atas blok massa batuan yang terdorong ke atas dan pada *strike-slip* tidak ada pergeseran vertikal, namun hanya pergeseran secara lateral (horizontal). Hal ini mengakibatkan tingkat seismisitas yang terdapat pada patahan *reverse* lebih tinggi dibanding dengan *strike-slip*.



Gambar 2.8 Nilai PHA dan spektral akselerasi pada jenis sumber gempa sesar baik *reverse* maupun *strike-slip* (Abrahamson dan Silva, 1997 dalam PUSGEN, 2017)

**2.5 Fungsi Atenuasi (GMPE)**

Fungsi atenuasi atau biasa disebut GMPE (*Ground Motion Prediction Equation*) merupakan persamaan matematika sederhana yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa (Magnitudo M dan jarak R) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) pada lokasi yang ditinjau (Prawirodikromo, 2012) menyampaikan ada beberapa parameter yang

berperan secara signifikan terhadap persamaan fungsi atenuasi diantaranya adalah magnitudo gempa, jarak sumber gempa, mekanisme sumber gempa dan kondisi tempat pencatatan data gempa. Perhitungan fungsi atenuasi dilakukan untuk mengestimasi tingkat guncangan tanah akibat gempa. Penentuan fungsi atenuasi didasarkan pada persamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah di mana fungsi atenuasi tersebut dibuat (Nugraha dkk., 2014)

Salah satu data yang digunakan untuk menurunkan fungsi atenuasi adalah data *time history* yang diperoleh dari hasil pencatatan alat *accelerograph* saat kejadian. Beberapa peneliti telah mempublikasikan beberapa fungsi atenuasi berdasarkan dengan catatan gempa yang pernah terjadi di suatu lokasi. Di Indonesia, karena minimnya data pencatatan *time history*, pemakaian fungsi atenuasi yang diturunkan di negara lain tidak dapat dihindari. Pada pemilihan fungsi atenuasi, pada dasarnya yang paling penting adalah berdasarkan mekanisme kejadian gempa. Pemilihan fungsi atenuasi ini didasarkan pada kesamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah dimana fungsi atenuasi itu dibuat. Fungsi atenuasi yang digunakan sebagian besar sudah menggunakan *Next Generation Attenuation* (NGA), dimana atenuasi ini dalam pembuatannya sudah menggunakan data gempa global (*worldwide data*).

## 2.6 Metode Mikrotremor

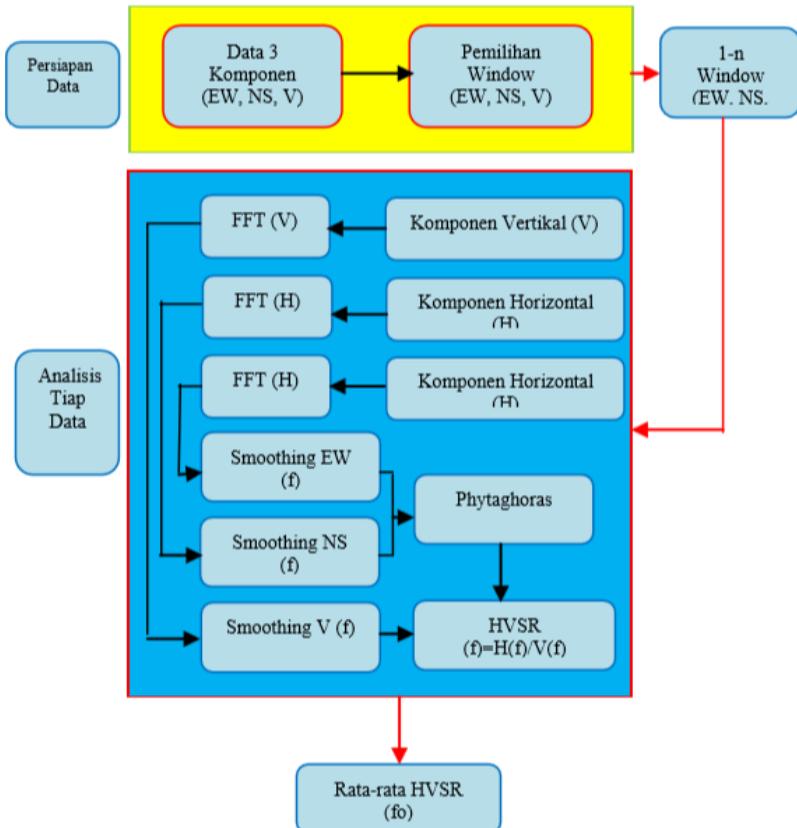
Menurut Arai (2005) mikrotremor (*ambient noise*) merupakan getaran tanah dengan amplitudo dalam orde mikrometer yang ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun aktivitas manusia yang dapat menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan. Sumber getaran mikrotremor yang berasal dari peristiwa alam di antaranya adalah efek gelombang laut, kegiatan atmosfer, interaksi angin dengan tanaman maupun pepohonan, aliran air sungai, dan getaran alamiah dari tanah. Sumber getaran mikrotremor yang berasal dari aktivitas manusia di antaranya adalah getaran mesin pabrik, kebisingan lalu lintas kendaraan, dan langkah kaki manusia. Mikrotremor juga dapat dikatakan sebagai getaran harmonik alami di bawah permukaan tanah yang terjadi secara terus-menerus sehingga terjebak pada lapisan sedimen dan terpantulkan akibat adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap (Pratiwi, 2017).

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo pergeseran sekitar 0,1  $\mu\text{m}$  hingga 1  $\mu\text{m}$  dan amplitudo kecepatan 0,001 cm/s hingga 0,01 cm/s. Mikrotremor diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan rentang periodenya, yaitu jenis pertama adalah mikrotremor periode pendek dengan periode kurang dari 1 sekon yang terkait dengan struktur bawah permukaan dangkal dengan ketebalan sedimen beberapa puluh meter dan jenis kedua adalah mikrotremor periode panjang dengan periode lebih dari 1 sekon yang terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam atau menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaoglu dan Dýkmen, 2003). Karakteristik rekaman getaran (seismogram) dari mikrotremor berubah terhadap kondisi geomorfologis.

Seismogram di dataran alluvial lunak memiliki amplitude lebih tinggi dengan durasi lebih panjang, sementara seismogram di batuan dasar amplitudonya sangat rendah dengan durasi pendek. Data mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamik lapisan tanah permukaan. Salah satu metode yang digunakan dalam analisis mikrotremor adalah metode Nakamura atau biasa disebut *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) (Arifudin, 2018).

## 2.7 Analisis Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

Metode HVSr menurut Nakamura (2008) terdapat hubungan antara perbandingan komponen horizontal dan komponen vertikal terhadap eliptisitas pada gelombang *Rayleigh*. Ia mengembangkan metode HVSr untuk mengestimasi nilai frekuensi dan amplifikasi keadaan geologi setempat dengan membandingkan spektrum horizontal dengan spektrum vertikalnya.

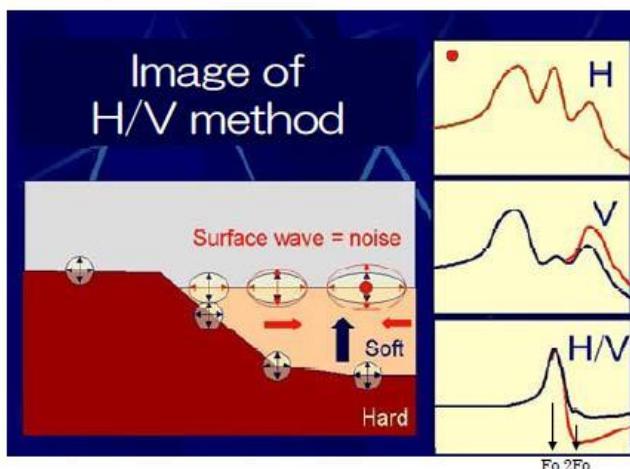


Gambar 2.9 Diagram alir analisis HVSr (Mufida dkk., 2013)

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan. Sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal. Metode ini dapat menunjukkan adanya korelasi yang tepat dengan frekuensi alami dasar medium pada lapisan yang lunak (soft soil). Sehingga metoda HVSR didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang geser pada medium sedimen diatas bedrock. Berikut merupakan diagram alir proses analisis HVSR data mikrotremor

## 2.8 Site Effect

Menurut Nakamura (1989) perbandingan spektrum antara komponen horizontal dan vertikal sebagai fungsi frekuensi memiliki hubungan dengan *site effect transfer* untuk gelombang S. Hal ini dibuktikan Nakamura melalui hasil penelitiannya yang menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras, nilai maksimum spektrum rasio komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya mendekati satu, sedangkan rekaman pada stasiun yang berada pada batuan lunak, nilai rasio maksimumnya mengalami amplifikasi yaitu lebih besar dari satu (Arifin dkk., 2014)



Gambar 2.10 Penggambaran metode HVSR (Nakamura, 2008)

Frekuensi natural dan amplifikasi menggambarkan karakteristik dinamis tanah yang dihasilkan dari analisis HVSR (Nakamura, 2000). Teknik HVSR menyatakan adanya hubungan antara perbandingan spectrum H/V sebagai fungsi frekuensi yang berhubungan erat dengan fungsi site transfer dari gelombang S (Nakamura, 1989). *Site effect* pada lapisan sedimen dipermukaan biasanya digambarkan dengan cara membandingkan spektrum antara komponen

horizontal rekaman seismogram pada lapisan tanah sedimen atau aluvial dengan komponen horizontal rekaman seismogram pada batuan keras. Nakamura (2000) membagi gelombang mikroseismik menjadi dua yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang badan, dimana gelombang *Rayleigh* termasuk kedalam gelombang permukaan yang merambat pada permukaan tanah dan gelombang badan merambat melalui batuan dasar seperti pada Gambar 2.4. Berdasarkan hal tersebut maka persamaan H/V dapat ditulis sebagai berikut.

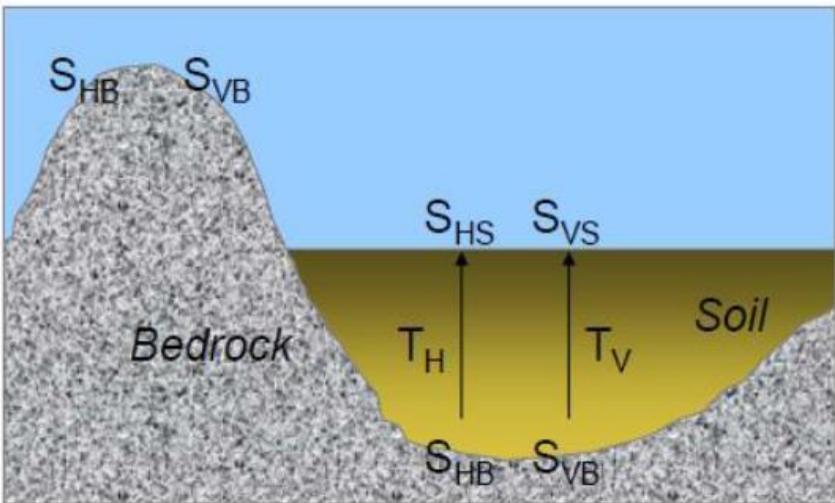
$$H_f = A_h \times S_{HB} + S_{HS} \tag{2.1}$$

$$V_f = A_v \times S_{VB} + S_{VS} \tag{2.2}$$

sehingga

$$H/V = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h \times S_{HB} + S_{HS}}{A_v \times S_{VB} + S_{VS}} \tag{2.3}$$

dimana  $H_f$  dan  $V_f$  adalah komponen horizontal dan vertikal gelombang mikroseismik,  $A_h$  dan  $A_v$  faktor amplifikasi gelombang badan,  $S_{HB}$  dan  $S_{VB}$  adalah spektrum gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar, sedangkan  $S_{HS}$  dan  $S_{VS}$  adalah spektrum gerak horizontal dan vertikal di permukaan tanah atau lapisan sedimen.



Gambar 2.11 Model cekungan yang berisi material sedimen halus (Nakamura,2000)

Menurut Nakamura (2000) *site effect* ( $T_{site}$ ) ditentukan berdasarkan perbandingan faktor amplifikasi gerakan horisontal ( $T_H$ ) dan vertikal ( $T_V$ ) dari permukaan tanah yang terkena batuan dasar.

$$T_h = \frac{H_f}{S_{HB}} \quad (2.4)$$

$$T_v = \frac{V_f}{S_{VB}} \quad (2.5)$$

sehingga,

$$T_{site} = \frac{T_h}{T_v} = \frac{H_f \cdot S_{VB}}{S_{HB} \cdot V_f} \quad (2.6)$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.2) *site effect* atau efek lokal sangat dipengaruhi oleh perambatan gelombang mikroseismik yang dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat. Nakamura (2000) juga mengasumsikan bahwa data mikroseismik tersusun atas beberapa jenis gelombang, tetapi utamanya adalah gelombang *Rayleigh* yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Efek gelombang *Rayleigh* pada mikroseismik terdapat pada spektrum komponen vertikal di lapisan sedimen permukaan, tetapi tidak terdapat pada spektrum komponen vertikal di batuan dasar. Komponen vertikal mikroseismik tidak teramplifikasi oleh lapisan sedimen ( $A_v = 1$ ) di permukaan tanah. Jika komponen vertikal lebih besar daripada spektrum gerak vertikal di batuan dasar ( $V_f \gg S_{VB}$ ) maka berdasarkan persamaan (2.2) terdapat pengaruh gelombang *Rayleigh* di lapisan sedimen. Prayitno (2009) juga menambahkan efek gelombang *Rayleigh* pada rekaman mikroseismik adalah ekuivalen untuk komponen yang terekam. Untuk rentang frekuensi (0,2 – 20 Hz) rasio spektrum antara komponen horisontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu. Pada kondisi tersebut rasio spektrum antara komponen horisontal dan vertikal dari gelombang mikrotremor yang terekam di permukaan memungkinkan efek gelombang *Rayleigh* pada batuan dasar untuk dieliminasi, sehingga menyisakan efek yang disebabkan oleh kondisi geologi lokal. Oleh karena itu, persamaan (2.6) menjadi;

$$T_{site} = \frac{H_f}{V_f} = \frac{\sqrt{(\text{Komponen utara-selatan})^2 + (\text{Komponen barat-timur})^2}}{\text{Komponen vertikal}} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) sama dengan konsep dari persamaan (2.3), dimana komponen horisontal dan komponen vertikal dipengaruhi oleh amplifikasinya. Hasil dari kurva HVSR adalah frekuensi natural dan amplifikasi, dimana frekuensi natural adalah frekuensi dominan yang terdapat pada daerah tersebut dan amplifikasi adalah besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu.

## 2.9 Parameter Seismic Hazard

### 2.8.1 Frekuensi Dominan (Natural) ( $F_g$ )

Frekuensi dominan didefinisikan sebagai frekuensi dari getaran yang terjadi pada saat nilai maksimum dari spektrum amplitudo fourier (*Fourier*

*Amplitude Spectrum*). Dalam pengertian lain, frekuensi dominan merupakan nilai frekuensi yang selalu muncul pada lapisan tanah sehingga sering disebut dengan frekuensi natural. Nilai frekuensi dominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik suatu batuan. Secara umum, material batuan masif yang terdapat pada lokasi perbukitan struktural didominasi oleh frekuensi dominan yang tinggi (Ngadmanto dkk., 2013). Frekuensi dominan di suatu tempat dapat mengalami resonansi dengan frekuensi bangunan jika frekuensi keduanya bernilai sama atau mendekati sama. Efek resonansi ini akan memperbesar simpangan bangunan saat terjadi goyangan yang menyebabkan bangunan mudah rusak.

Tabel 2.1 Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural mikroseismik oleh Kanai yang dikutip dari (Arifin dkk., 2014)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis II	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
	Jenis I	4 - 10	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 m
Tipe III	Jenis I	2,5 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan > 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal 10 – 20 m

Tipe II	Jenis I	< 2,5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaan sangat tebal.
Tipe I				

### 2.8.2 Periode Dominan (T<sub>dom</sub>)

Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan suatu gelombang alami dari mikrotremor untuk melewati suatu medium atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Nilai periode dominan dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah dan memperkirakan kekerasan batuan. Parameter ini berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dominan ( $F_g$ ) di tempat yang sama. Periode dominan tanah juga akan mempengaruhi besarnya percepatan getaran tanah maksimum pada batuan dasar (*base rock*) dan pada permukaan (*ground surface*) (Arifudin, 2018). Menurut Ozaki dkk., (1978) jika nilai periode getaran seismik (T) dan periode natural tanah (T<sub>dom</sub>) sama maka akan terjadi resonansi, sehingga percepatan tanah akan mengalami penguatan yang disebut dengan percepatan tanah maksimum.

Berikut merupakan tabel klasifikasi tanah berdasarkan parameter periode dominan (T<sub>dom</sub>) menurut Zhao (2006):

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan periode dominan (T<sub>dom</sub>) menurut (Zhao, 2006)

Site Class	Description	Natural Period (second)
SC I	Rock	$T < 0.2$
SC II	Hard soil	$0.2 \leq T < 0.4$
SC III	Medium Soil	$0.4 \leq T < 0.6$
SC IV	Soft Soil	$T \geq 0.6$

### 2.8.3 Kecepatan Gelombang Geser (V<sub>s</sub>)

Kecepatan gelombang S adalah kecepatan gelombang yang terjadi di dekat permukaan tanah. Para ahli berpendapat bahwa *soil density* hanya sedikit bervariasi menurut kedalaman, sehingga kecepatan gelombang S dipandang lebih tepat sebagai salah satu kriteria klasifikasi tanah. Kecepatan gelombang geser juga bervariasi menurut kedalaman tanah, sehingga para ahli sepakat untuk memakai rata-rata kecepatan gelombang S sampai 30 meter di bawah

permukaan. Parameter ini umumnya disebut dengan Vs30 (Pawirodikromo, 2012)

Vs30 merupakan kecepatan rata-rata gelombang geser hingga kedalaman 30 m dari permukaan. Parameter ini memegang peranan penting dalam bidang geoteknik untuk analisis bahaya gelombang seismik akibat gempa bumi. Menurut (Roşer dan Gosar, 2010) nilai Vs30 digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa. Vs30 merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter. Menurut Wangsadinata (2006) hanya lapisan-lapisan batuan sampai kedalaman 30 m saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa. Terdapat beberapa metode untuk mengestimasi nilai Vs30, diantaranya; *seismic borehole*, *Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)*, *Spectral Analysis of Surface Wave (SASW)*, serta mikrotremor baik *single station* maupun *array*. Selain itu, nilai Vs30 juga dapat diestimasi melalui pendekatan data topografi dan elevasi suatu wilayah seperti persebaran Vs30 pada USGS.

Berikut merupakan persamaan Vs30 menurut Matsuoka dkk (2006) dengan pendekatan elevasi:

$$\text{Log Vs30} = a + b \text{ Log Ev} + c \text{ Log Sp} + d \text{ Log Dm} \pm \sigma \quad (2.8)$$

Dimana Vs30 merupakan rata-rata kecepatan gelombang geser (m/s), Ev yaitu Elevasi (m), Sp merupakan Tangen dari slope \* 1000, sedangkan Dm adalah Jarak (km) dari gunung atau bukit pra tersier atau tersier. Sedangkan jika melalui pengukuran mikrotremor, umumnya digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Vs30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (2.9)$$

Dimana N adalah banyaknya lapisan, sedangkan h dan v masing-masing merupakan ketebalan tiap lapisan dan kecepatan gelombang geser. Nilai Vs30 ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam menentukan *site classification* (kelas situs) berdasarkan SNI 1726:2012.

#### 2.8.4 Peak Ground Acceleration (PGA) dan Peak Surface Acceleration (PSA)

*Peak Ground Acceleration* merepresentasikan tingkat besarnya percepatan tanah di batuan dasar. Gerakan tanah yang terjadi pada lapisan bawah tanah atau batuan padat, karakteristiknya dijelaskan menggunakan parameter amplitudo yaitu percepatan tanah maksimum, kecepatan tanah maksimum dan pergeseran maksimum (PGA). PGA dinyatakan dalam satuan percepatan gravitasi (*Gravitational Acceleration* = gal) atau cm/s<sup>2</sup>. Nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan menunjukkan tingkat resiko bencana yang terjadi. Dua metode untuk menentukan nilai PGA, yaitu melalui pengukuran alat (accelerograf) dan perhitungan empiris. Pendekatan metode empiris tidak selalu

benar, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum (Ibrahim, 2005)

Sedangkan *Peak Surface Acceleration* mewakili besarnya nilai percepatan tanah maksimum di permukaan. Sehingga seolah-olah nilai ini merupakan hasil “penembakan” PGA ke permukaan. Syarat untuk memperoleh nilai PSA adalah mengetahui bagaimana karakteristik dinamis bawah permukaan. Umumnya, parameter dinamis yang digunakan adalah Vs30 sebagai dasar untuk mengestimasi kelas situs berdasarkan SNI 1726:2012. Dari sinilah didapatkan faktor amplifikasi untuk setiap periode percepatan sebagai faktor pengali nilai PGA untuk memperoleh persebaran nilai percepatan tanah di permukaan (PSA).

## **2.9 Inversi *Ellipticity Curve* Gelombang *Rayleigh***

Salah satu metode alternatif yang lebih sederhana untuk mengestimasi nilai kecepatan gelombang geser (Vs) dapat diterapkan dengan memanfaatkan eliptisitas gelombang *Rayleigh*. Dimana metode ini menggunakan pengukuran sensor seismik tunggal (*single* mikrotremor). Metode tersebut mengasumsikan bahwa gelombang permukaan mendominasi data mikrotremor dan bentuk kurva H/V sebagian besar didominasi oleh eliptisitas gelombang *Rayleigh* (Ullah, 2017). Gelombang *Rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang terbentuk akibat interferensi gelombang-gelombang pantul P dan SV yang sudut datangnya melebihi sudut kritis. Gerak partikel medium ketika dilewati oleh gelombang ini berbentuk elips dimana merupakan kombinasi dari gerak partikel gelombang P dan SV. Rasio gerakan partikel horizontal dan vertikal inilah yang disebut eliptisitas gelombang *Rayleigh* (Hobiger dkk., 2013). Hasil analisis HVSr berupa kurva H/V digunakan sebagai model inisiasi dalam metode *ellipticity curve* yang nantinya dipengaruhi oleh beberapa inisiasi parameter. Parameter input berpengaruh dalam proses iterasi *matching curve* atau pendekatan model dengan keadaan sebenarnya. Semakin dekat nilai inisialisasi dengan kondisi lapangan pada wilayah penelitian, maka model yang dihasilkan akan semakin baik.

Eliptisitas gelombang *Rayleigh* telah digunakan pada tahun 1969 untuk menentukan struktur bawah permukaan (Boore dan Toksoz, 1969). Berdasarkan penelitian tersebut, secara umum eliptisitas dan kecepatan fase sama-sama sensitif terhadap gangguan struktural. Namun lapisan sedimen dekat permukaan yang memiliki kecepatan rendah, jauh lebih kuat dipengaruhi oleh eliptisitas daripada kecepatan fase (Boore dan Toksoz, 1969). Belakangan, penggunaan eliptisitas gelombang *Rayleigh* untuk menentukan struktur bawah permukaan semakin diminati. Poggi menerapkan penggunaan eliptisitas gelombang *Rayleigh* untuk kajian bahaya seismik dan mikrozonasi di Lucerne, Switzerland (Poggi dkk., 2012). Sementara itu di Eropa, Hobiger menggunakan inversi

eliptisitas gelombang Rayleigh untuk memetakan struktur tanah (Hobiger dkk., 2013).

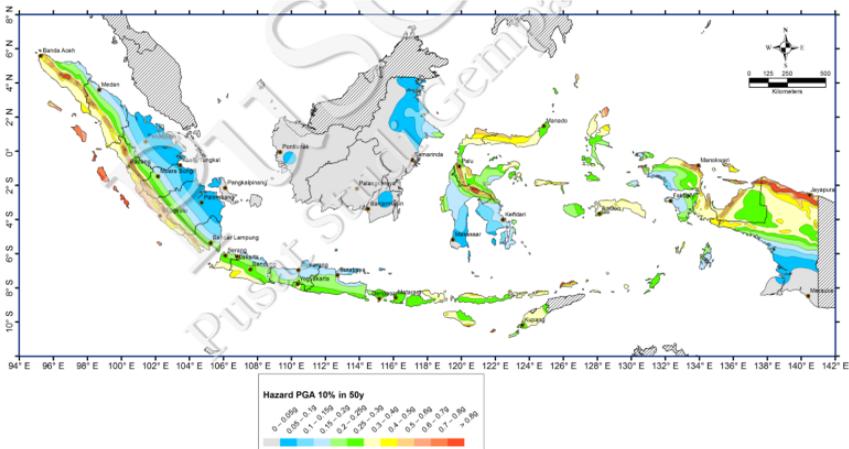
Proses inversi didasarkan pada teknik *Monte Carlo* atau *conditional neighbourhood algorithm* (Sambridge, 1999). Sehingga tahapan ini tergolong jenis inversi non-linear dengan pendekatan global secara acak. Dari model observasi dengan parameter seperti penjelasan sebelumnya, perhitungan misfit yang bersesuaian dilakukan dengan persamaan:

$$\text{misfit} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{D_i - M_i}{\sigma_i}\right)^2} \quad (2.10)$$

Dimana  $N$  adalah jumlah titik data,  $D_i$  adalah data hasil inversi,  $M_i$  adalah model struktur tanah, dan  $\sigma_i$  merupakan standar deviasi dari data hasil inversi dengan  $1 \leq i \leq N$ . Namun apabila nilai misfit yang didapat masih relatif tinggi ( $\text{misfit} > 1$ ), maka perlu ditinjau ulang terkait penentuan parameter awal untuk model observasi. Selain itu, hal yang memengaruhi nilai misfit adalah parameter pada lebar dan jumlah jendela saat tahap analisis HVSR. Nilai misfit terbaik merupakan nilai yang relatif kecil ( $0 \leq \text{misfit} < 1$ ) dan nantinya digunakan sebagai model terbaik (*estimate model*) sebagai hasil dari proses inversi HVSR.

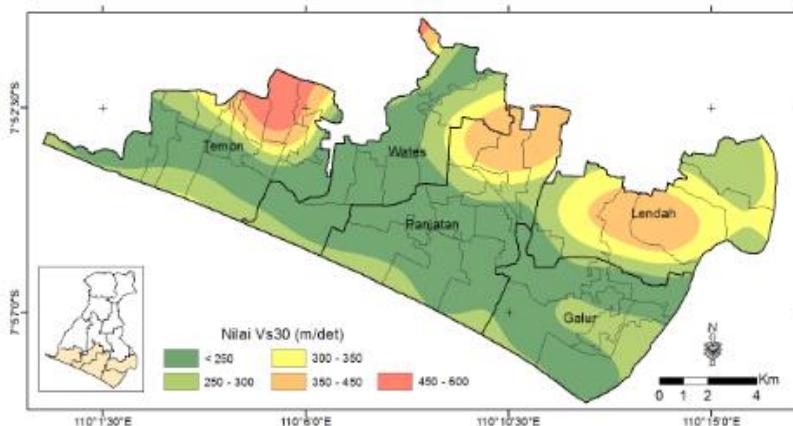
## 2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dengan judul Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (PUSGEN, 2017) diperoleh sebaran nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di seluruh Indonesia. Adapun untuk wilayah Lombok, estimasi nilai PGA yang didapat untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau dalam periode ulang 2500 tahun sebesar 0,25 – 0,3g.

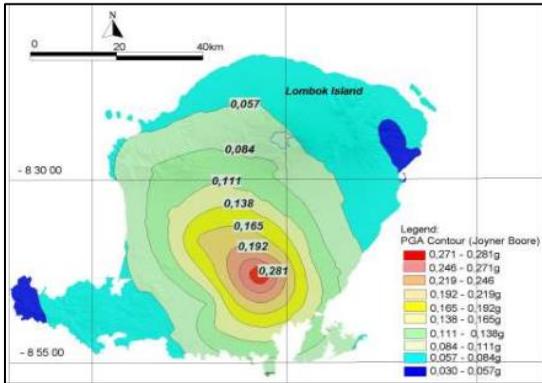


Gambar 2.12 Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (PUSGEN, 2017)

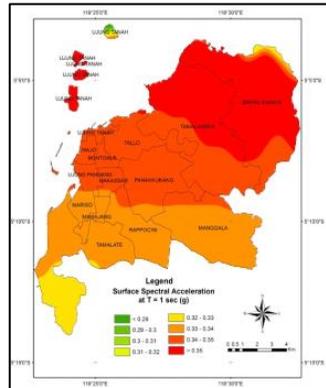
Selain itu, penelitian dengan memanfaatkan metode inversi eliptisitas gelombang *Rayleigh* pernah dilakukan oleh Sunardi dkk., (2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi persebaran nilai  $V_{s30}$  serta menentukan kelas situs di wilayah Kulon Progo bagian selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah tersebut mempunyai rentang nilai  $V_{s30}$  relatif rendah berkisar antara 180-342 m/s serta tergolong kelas situs SD (tanah lunak). Penelitian lain dilakukan oleh S. Agustawijaya dkk., (2018) untuk menentukan tingkat seismisitas dan nilai percepatan tanah maksimum di Pulau Lombok dengan pendekatan persamaan atenuasi *Joyner-Boore*. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya variasi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) antara 0.030g hingga 0.281g. Nilai PGA tertinggi terdapat pada wilayah Pulau Lombok bagian tenggara. Sedangkan penelitian untuk mendapatkan percepatan tanah maksimum di permukaan (PSA) dilakukan oleh Sunardi dan Nugraha (2016) pada studi kasus Kota Makassar. Kesimpulan yang diperoleh yaitu besarnya parameter PSA dipengaruhi oleh letak sumber gempa dan jenis kelas situs. Hal tersebut dibuktikan dengan tingginya nilai PSA pada Kecamatan Tamalanrea dan Biringkanaya disebabkan kedua wilayah tersebut relatif lebih dekat dengan sumber gempa serta secara geologi didominasi oleh jenis tanah sedang (SD).



Gambar 2.13 Estimasi nilai  $V_{s30}$  dengan inversi *ellipticity curve* gelombang Rayleigh (Sunardi dkk., 2018)



(a)



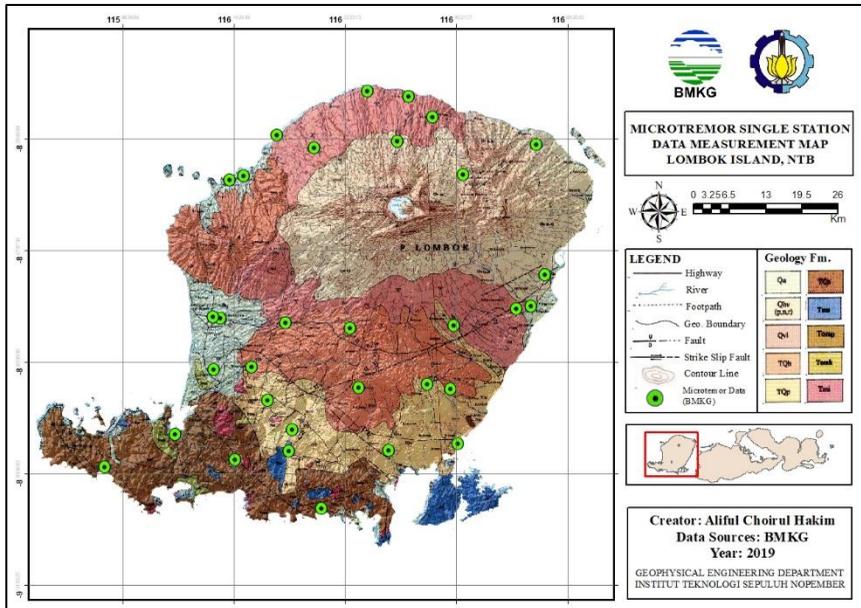
(b)

Gambar 2 14 (a) Persebaran nilai PGA di Pulau Lombok dengan pendekatan persamaan Joyner-Boore (S. Agustawijaya dkk., 2018);  
 (b) Penentuan percepatan maksimum di permukaan dengan pendekatan probabilistik di Kota Mataram (Sunardi dan Nugraha, 2016)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 25 Februari hingga 23 Mei 2019 bertempat di kantor Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Jakarta Pusat, sub bidang Layanan Informasi Seismologi Teknik. Data yang digunakan yaitu data sekunder dari pengukuran mikrotremor *single station* sebanyak 32 titik yang terdistribusi di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat.



Gambar 3.1 Peta akusisi data metode mikrotremor *single station* wilayah Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat.

### 3.2 Perangkat Lunak

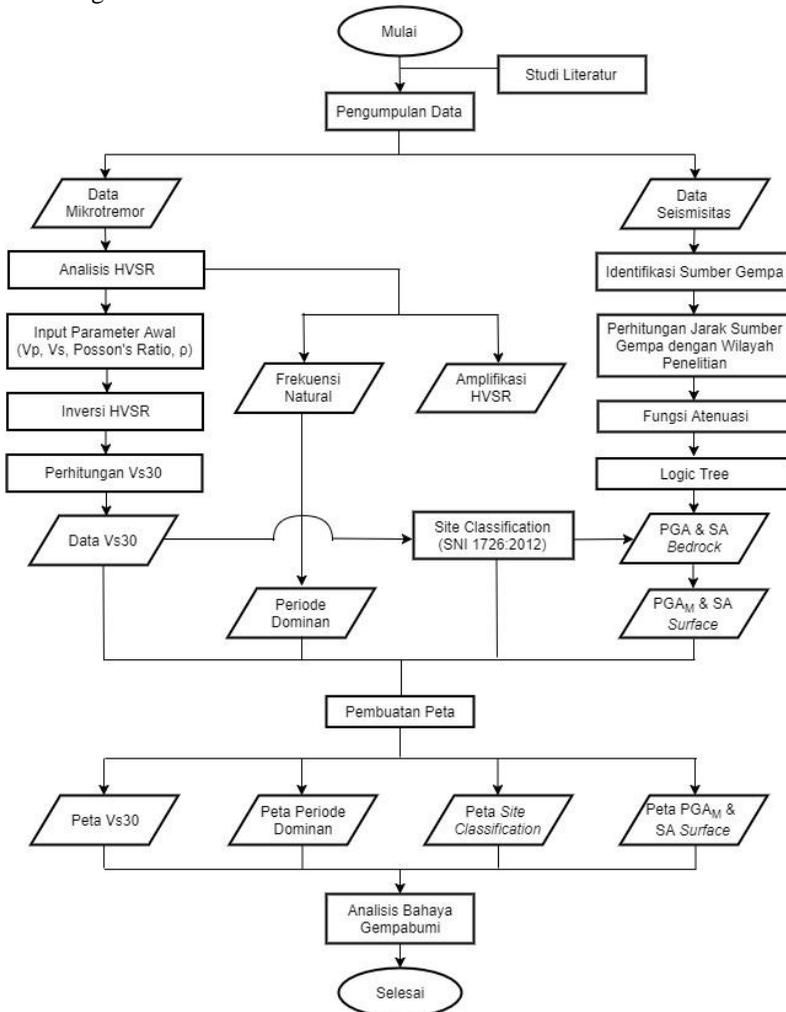
Pada proses pengolahan data diperlukan perangkat lunak yang memadai. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Software Geopsy* untuk pengolahan data rekaman mikrotremor menjadi kurva rasio *horizontal to vertical* yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan frekuensi natural dan amplifikasi
2. *Software Dinver* untuk pengolahan inversi kurva HVSR menjadi dugaan penampang bawah permukaan guna mengetahui nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan ketebalannya.

3. *Software RockWorks16* untuk pembuatan model 3D kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) terhadap kedalaman.
4. *Software ArcMap 10.4.1* untuk pengolahan data spasial serta pembuatan peta persebaran nilai dari beberapa parameter yang ditentukan.

### 3.3 Alur Penelitian

Secara garis besar, alur kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Data Penelitian

#### 3.4.1 Data Mikrotremor

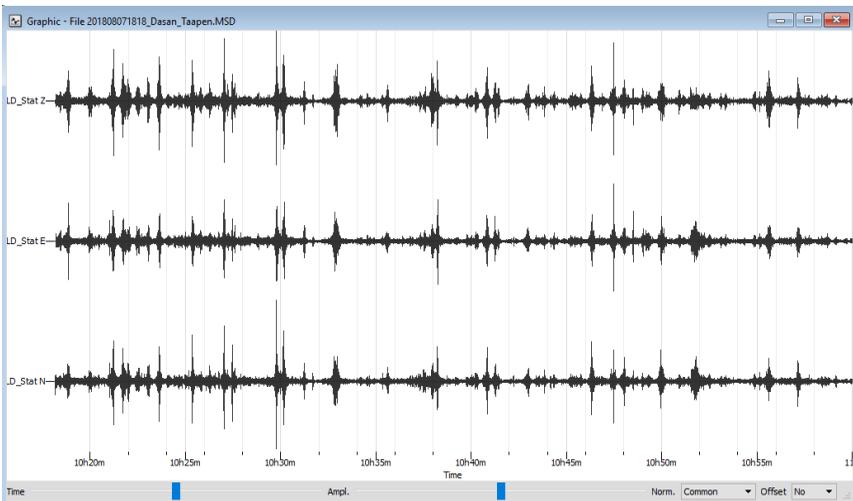
Pada penelitian ini digunakan data sekunder milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Jakarta Pusat, Sub Bidang Layanan Informasi Seismologi Teknik. Data tersebut berupa akuisisi metode mikrotremor *single station* sejumlah 32 titik yang tersebar di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat. Pengukuran ini dilakukan dengan rentang waktu bervariasi antara 30 menit hingga satu jam. Berikut merupakan data titik pengukuran yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3 1 Data pengukuran mikrotremor *single station* oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Jakarta Pusat

No	Nama Titik	Latitude	Longitude
1	Pandua Daya	-8.31318	116.27254
2	Akar-Akar	-8.221052	116.35887
3	Sambik Elen	-8.26343	116.46425
4	Senaru	-8.30224	116.40707
5	Mandalika Kuta	-8.89379	116.28434
6	Pare Semoyang	-8.80011	116.39312
7	Lungkak Ketapang	-8.78941	116.50529
8	Poh Gading	-8.567878	116.623098
9	Yonif	-8.517563	116.646523
10	Dasan Taapen	-8.572023	116.6000023
11	Batu Jangkih	-8.815	116.14444
12	Bayan	-8.22977	116.42583
13	Belanting	-8.30708	116.631958
14	Bonder	-8.7673	116.23714
15	Gangga	-8.29261	116.21211
16	Gapuk	-8.67	116.1104
17	Hotel Mataram	-8.5874	116.12098
18	Karang Ruma	-8.66571	116.17202
19	Medana	-8.36447	116.13588
20	Pandan Duri	-8.69363	116.45605
21	Pandora Hotel	-8.58527	116.10965
22	Pelangan	-8.82704	115.93368

23	Praya Barat Daya	-8.71902	116.19731
24	Sanggok	-8.60354	116.33098
25	Sekoteng Tengah	-8.7746	116.04786
26	Sembalun	-8.35586	116.51402
27	SMP 2 Praya Barat	-8.80099	116.23239
28	Tanjung	-8.35789	116.15853
29	Golong	-8.59484	116.226876
30	Anjani	-8.599429	116.49885
31	Beraim	-8.699255	116.344352
32	Sakra Selatan	-8.700655	116.49348

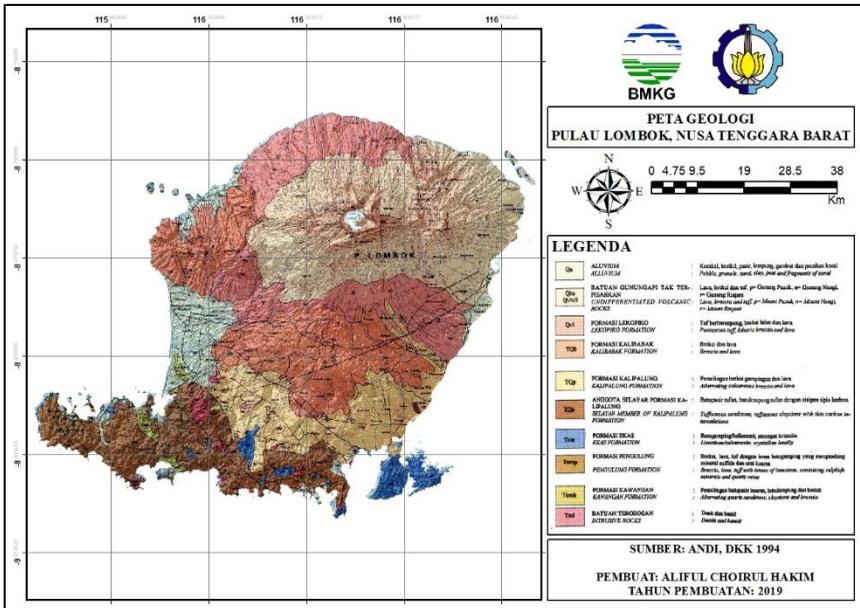
Data diatas merupakan nama wilayah pengukuran beserta koordinat setiap titik. Hasil akuisisi metode mikrotremor *single station* ini berupa rekaman getaran alami tanah dalam domain waktu. Adapun rekaman ini terdiri dari tiga komponen berdasarkan arahnya, yaitu; vertikal dan dua arah horizontal (Barat-Timur dan Utara-Selatan). Berikut merupakan contoh *raw data* dari salah satu titik pengukuran di wilayah Dasan Taapen dengan koordinat geografis 116.600023, -8.572023.



Gambar 3.3 Data rekaman getaran tanah mikrotremor *single station* di titik Dasan Taapen

### 3.4.2 Data Geologi

Untuk membantu dalam proses analisis dan interpretasi, maka dibutuhkan data penunjang berupa kondisi geologi di wilayah yang telah ditentukan. Selain itu, data ini diperlukan sebagai acuan dan pedoman dalam menentukan inisiasi parameter pada proses inversi data mikrotremor. Penelitian kali ini digunakan peta geologi Pulau Lombok beserta nama formasi dan jenis batuan yang dominan di dalamnya. Adapun peta tersebut bersumber dari Andi,dkk (1994).

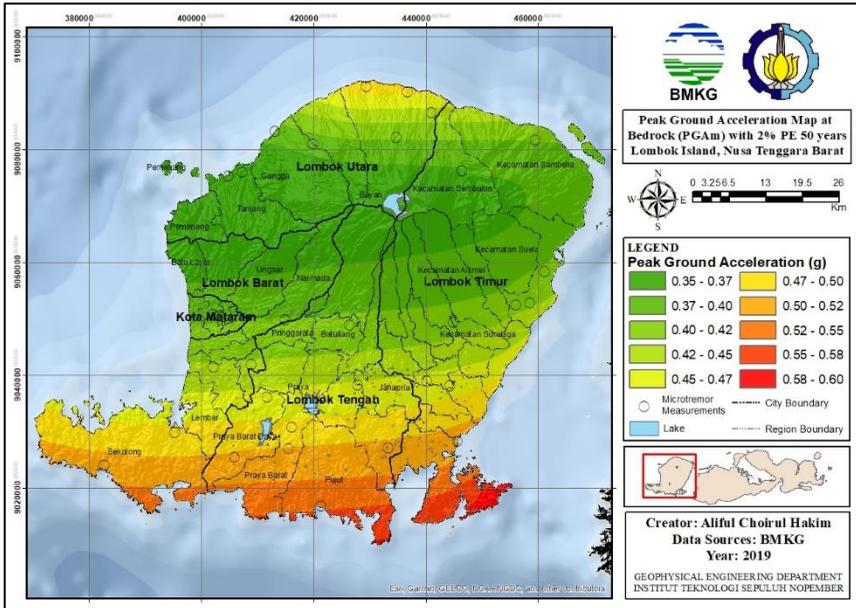


Gambar 3.4 Peta geologi Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat (Andi dkk., 1994)

### 3.4.3 Data PGA (Peak Ground Acceleration) di batuan dasar

Untuk memperoleh percepatan tanah di permukaan, maka salah satu parameter yang dibutuhkan yaitu data percepatan tanah maksimum di batuan dasar. Pada penelitian ini, digunakan data PGA (Peak Ground Acceleration) *bedrock* di Pulau Lombok hasil pengolahan dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Rentang nilai PGA yang didapatkan dari hasil pengolahan ini berkisar antara 0.35 g hingga 0.60 g. Penggunaan sumber gempa pada data ini terdapat tiga jenis, yaitu: (1) *fault* (patahan) dan *shallow crustal*, (2) *megathrust* (zona subduksi), serta (3) *intraslab* (zona *Benioff* / gempa dalam). Oleh karena dalam proses pengolahan data ini menggunakan pendekatan probabilistik, maka peta PGA batuan dasar yang dihasilkan memperhitungkan

berbagai faktor kemungkinan. Termasuk di dalamnya yaitu besarnya nilai yang melampaui nilai PGA maksimum di batuan dasar serta nilai periode percepatan spektra. Adapun pada penelitian kali ini menggunakan faktor batas terlampaui sebesar 2 % dalam 50 tahun serta periode panjang dan pendek pada spektra percepatan masing-masing 0.2 detik dan 1 detik.

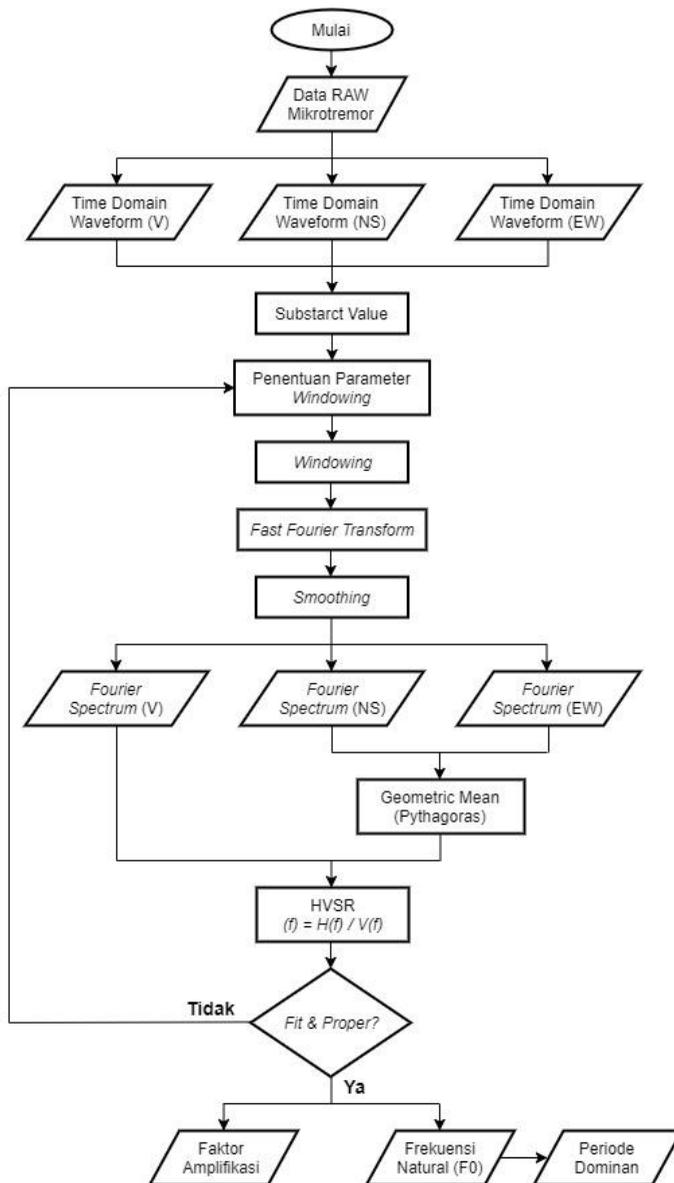


Gambar 3.5 Peta persebaran nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar (PGA) dengan pendekatan probabilistik.

### 3.5 Pengolahan Data

#### 3.5.1 Analisis HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

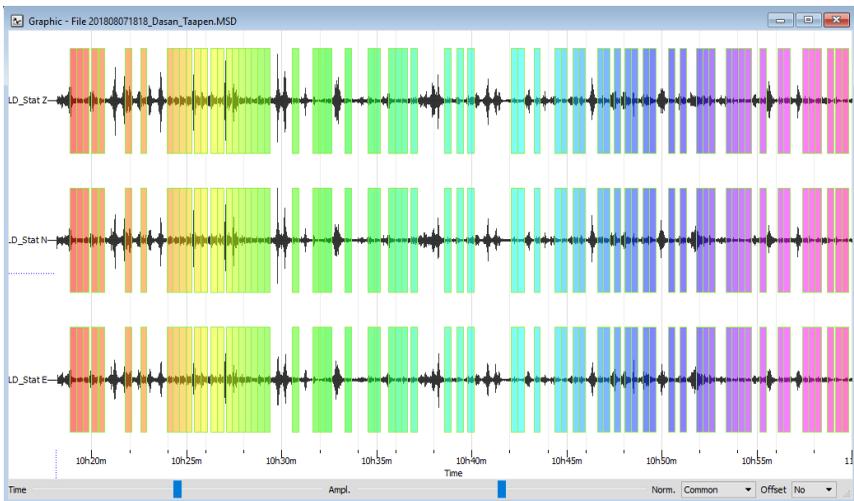
Pada tahap ini, digunakan data dari rekaman getaran (seismogram) berupa *waveform* dalam domain waktu dari akuisisi metode mikrotremor *single station*. Data tersebut terdiri dari tiga komponen utama, yaitu; komponen vertikal, komponen horizontal Utara-Selatan, dan komponen horizontal Timur-Barat dengan durasi pengukuran kurang lebih antara 30 menit hingga satu jam. Dari *waveform* ketiga komponen tersebut, dilakukan proses *windowing* atau pencacahan dan pemilahan gelombang yang bersifat *stationer*. Proses ini bertujuan untuk memisahkan antara data mikrotremor dengan *noise* berupa data *transient* (sumber spesifik). *Noise* atau sinyal *transient* ini umumnya disebabkan adanya gangguan saat akuisisi data, baik berupa aktifitas pabrik maupun laju kendaraan.



Gambar 3 6 Diagram alir analisis HVSR

Secara umum, konsep dalam analisis HVSR ini diawali dengan proses *windowing* sebagaimana telah dijelaskan diatas. Penentuan beberapa parameter dalam tahapan ini mengikuti standar international dari SESAME (*Site Effects Assessment using Ambient Excitations*) tahun 2004. Setelah itu, dilakukan proses FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk mengonversi *waveform* pada tiap komponen dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Selanjutnya, spektrum fourier yang diperoleh dilakukan smoothing dengan jenis Konno-Ohmachi dalam bandwidth 40. Penggabungan kurva horizontal Utara-Selatan dengan Timur-Barat menggunakan kaidah persamaan *Phytagoras* berdasarkan rata-rata kuadrat dari kedua komponen. Kemudian dilakukan estimasi rasio rata-rata spektrum fourier antara komponen horizontal dengan komponen vertikal dalam domain frekuensi untuk mendapatkan nilai H/V di titik tersebut.

Cara untuk memisahkan antara sampel data mikrotremor yang ingin diambil dengan data transient / noise yaitu dengan membandingkan parameter STA (*Short Term Average*) dengan LTA (*Long Term Average*). STA merupakan nilai rata-rata amplitudo jangka pendek (0.5 – 2 detik), sedangkan LTA merupakan nilai rata-rata amplitudo jangka panjang (>10 detik). Apabila *waveform* tersebut memiliki nilai diluar ambang batas STA/LTA, maka dapat dianggap sebagai *event* atau *noise* (Koller et al., 2004). Penelitian ini menggunakan nilai minimum dan maksimum untuk perbandingan STA/LTA masing masing sebesar 0.20 dan 2.50.



Gambar 3.7 Tahap *waveform windowing* titik Dasan Taapen

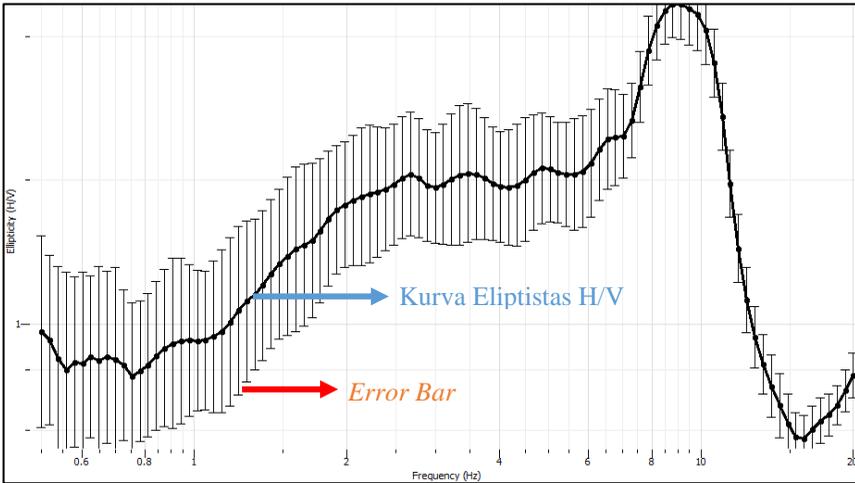
Selain parameter STA dan LTA, ada beberapa parameter lain yang dapat diatur. Pada tahap *windowing*, dapat ditentukan *frequency sampling* yang dalam hal ini menggunakan nilai 0.50 Hz – 20 Hz. Sehingga nantinya apabila

sebagian kurva HVSR yang dihasilkan memiliki *sampling* frekuensi diluar batas yang telah ditentukan, maka secara otomatis tidak akan ditampilkan pada jendela kurva. Selain itu, dua parameter lain yang diatur dalam tahap ini yaitu *window length* dan *smoothing*. *Window length* atau lebar jendela pada *sampling* data yang digunakan pada penelitian ini sebesar 20 detik serta jenis *smoothing* Konno-ohmachi dengan nilai *smoothing constant* yaitu 40. Berikut (Gambar 3.5) merupakan salah satu tampilan pada tahap *windowing* untuk titik pengukuran di Dasan Taapen.

### 3.5.2 Inversi HVSR dengan Pendekatan Kurva Eliptisitas Gelombang Rayleigh

Proses inversi kurva HVSR dilakukan untuk mendapatkan parameter bawah permukaan. Data yang digunakan pada proses inversi merupakan hasil pemodelan kedepan. Model tersebut diharapkan mampu menghasilkan respon yang cocok dengan data hasil pengukuran di lapangan (Grandis, 2009). Pada tahap ini, parameter yang akan diperoleh yaitu berupa kecepatan gelombang geser rata-rata pada kedalaman 30 meter dibawah permukaan tanah ( $Vs_{30}$ ). Dengan parameter  $Vs_{30}$  ini, maka dapat digambarkan bagaimana kondisi geologi (ground profile) di wilayah yang telah ditentukan.

Penentuan kecepatan gelombang geser ( $Vs$ ) pada penelitian ini digunakan pendekatan metode *ellipticity curve* / kurva eliptisitas gelombang Rayleigh melalui inversi kurva HVSR. Program yang digunakan pada proses inversi ini yaitu *Dinver* pada *Geopsy*. Kurva eliptisitas gelombang Rayleigh tersebut didapatkan dari hasil analisis HVSR spektrum sinyal mikrotremor menggunakan program *Sesarray Geopsy* yang disimpan dalam ekstensi “.hv”. Bentuk kurva eliptisitas yang dijadikan input sangat bergantung pada bagaimana proses analisis HVSR yang telah dilakukan, terutama saat tahap *waveform windowing*. Apabila saat tahap pemilihan *stationary waveform* dari proses *windowing* sudah tepat, maka *error bar* akan cenderung berhimpit dengan kurva H/V. Selain itu, penentuan parameter *windowing* seperti lebar jendela dan jumlah jendela akan mempengaruhi bentuk *error bar* terhadap kurva H/V. Semakin berhimpit atau semakin kecil *error bar* pada kurva H/V, maka data hasil analisis HVSR tersebut semakin dapat dipercaya / *confident*.



Gambar 3.8 Kurva eliptisitas H/V terhadap frekuensi

Setelah kurva eliptisitas diperoleh, maka tahap selanjutnya yaitu menentukan inisiasi parameter model awal. Parameter-parameter tersebut terdiri dari  $V_p$  (*compressional wave*),  $V_s$  (*shear wave*), *Poisson's Ratio*, dan  $\rho$  (*density*). Penentuan parameter ini harus mencerminkan karakteristik dinamis tanah sesuai lokasi titik pengukuran. Sehingga dalam hal ini, dibutuhkan data-data geologi untuk membantu menetapkan parameter diatas, salah satunya yaitu peta geologi seperti pada Gambar 3.3.

Add		Add	
<b>Compression-wave velocity (m/s)</b>		<b>Poisson's Ratio</b>	
Del		Del	
Uniform		Uniform	
Linked to $V_{s0}$		Linked to $V_{s0}$	
$V_{p0}$ : 380 to 1200 m/s	<input type="checkbox"/> Fixed	$Nu_0$ : 0.2 to 0.5	
Uniform		Uniform	
$V_{p1}$ : 1200 to 1500 m/s	<input type="checkbox"/> Fixed	$Nu_1$ : 0.2 to 0.5	
<input checked="" type="checkbox"/> $V_{p0} < V_{p1}$	Linked to $V_{s1}$	<input checked="" type="checkbox"/> $Nu_0 > Nu_1$	Linked to $V_{s1}$
Uniform		Uniform	
$V_{p2}$ : 2100 to 3200 m/s	<input type="checkbox"/> Fixed	$Nu_2$ : 0.2 to 0.5	
<input checked="" type="checkbox"/> $V_{p1} < V_{p2}$	Linked to $V_{s2}$	<input checked="" type="checkbox"/> $Nu_1 > Nu_2$	Linked to $V_{s2}$
Uniform		Uniform	
$V_{p3}$ : 2800 to 4000 m/s	<input type="checkbox"/> Fixed	$Nu_3$ : 0.2 to 0.5	
<input checked="" type="checkbox"/> $V_{p2} < V_{p3}$	Linked to $V_{s3}$	<input checked="" type="checkbox"/> $Nu_2 > Nu_3$	Linked to $V_{s3}$
<input checked="" type="radio"/> Uniform	<input checked="" type="checkbox"/> $V_{p3} < V_{p4}$	<input checked="" type="radio"/> Uniform	<input checked="" type="checkbox"/> $Nu_3 > Nu_4$

Gambar 3.9 Penentuan inisiasi parameter  $V_p$  dan *Poisson's Ratio* untuk model awal

Gambar 3.10 Penentuan inisiasi parameter Vs dan *Density* untuk model awal

Dikarenakan terbatasnya data geologi, maka digunakan beberapa pendekatan untuk memperoleh beberapa parameter diatas. Sebagai contoh yaitu dalam mencari nilai massa jenis (*density*), maka menggunakan pendekatan persamaan Christensen dan Mooney (1995) serta Godfrey dkk., (1997) yang menghubungkan antara parameter  $V_p$  (*compressional wave*) dengan massa jenis. Kedua persamaan tersebut tertulis sebagai berikut umumnya berlaku pada jenis batuan vulkanik. Penggunaan persamaan-persamaan ini disebabkan lokasi akuisisi data mikrotremor di keseluruhan Pulau Lombok didominasi oleh batuan vulkanik, seperti breksi, lava, dan tuf. Hanya sebagian wilayah saja yang didominasi oleh aluvium yakni di Kota Mataram. Adapun kedua persamaan tersebut tertulis sebagai berikut:

$$\rho \text{ Christensen } \left( \frac{g}{cm^3} \right) = 0.541 + 0.36 V_p \quad (3.1)$$

$$\rho \text{ Godfrey } \left( \frac{g}{cm^3} \right) = 2.4372 + 0.076 V_p \quad (3.2)$$

dimana  $\rho$  merupakan densitas batuan, sementara  $V_p$  adalah kecepatan kompresional.

Sementara itu, untuk memperoleh parameter Poisson's Ratio, maka digunakan persamaan yang mengomparasikan antara parameter  $V_p$  dan  $V_s$ . Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1} \quad (3.3)$$

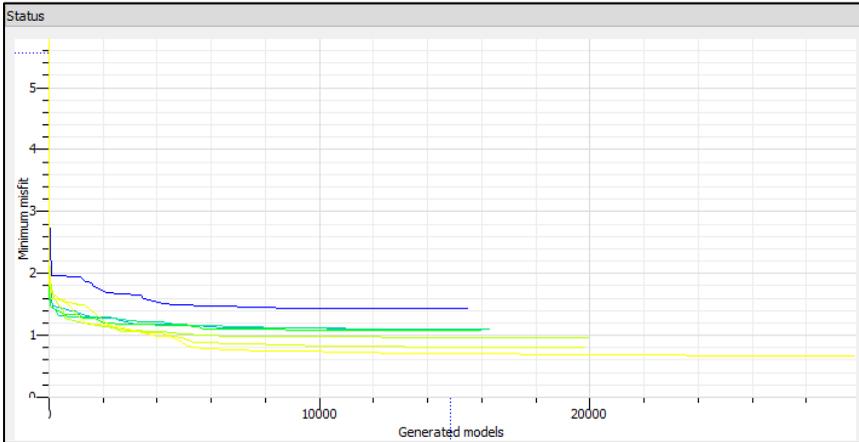
dimana  $\sigma$  adalah poisson's ratio, sedangkan  $V_p$  dan  $V_s$  masing masing yaitu kecepatan kompresional dan kecepatan geser.

Untuk parameter selanjutnya yaitu  $V_p$  dan  $V_s$ , maka digunakan acuan dari tabel klasifikasi nilai  $V_p$  dan  $V_s$  pada batuan vulkanik yang bersumber dari Press (1966), Christensen (1984), dan *Gardner & House* (1987) sebagai berikut:

Tabel 3 2 Nilai Vp dan Vs untuk batuan vulkanik oleh *Press* (1966), *Christensen* (1984), serta *Gardner & House* (1987)

No	Nama Titik	Vp (km/s)	Vs (km/s)
1	Tuff	1.43	0.87
		0.76 - 4.57	
2	Silicic Tuff	2.16	0.83
3	Rhyolite	3.27	1.98
4	Latite	3.77	2.21
5	Volcanic Breccia	4.22	2.49
6	Trachyte	5.41	3.05
7	Andesite	5.23	3.06
8	Basalt	3.35	1.64
		4.76	2.19
		5.06	2.72
		5.41	3.21
		6.4	3.2
9	Basaltic Scoria	4.33	2.51

Setelah menentukan inisiasi parameter untuk model awal (observasi), maka langkah selanjutnya adalah menjalankan proses inversi. Dalam hal ini, jumlah iterasi maksimal dapat ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Secara umum, jumlah iterasi sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai misfit. Semakin besar jumlah iterasi maksimal, maka kemungkinan untuk memperoleh nilai misfit yang kecil juga semakin besar. Akan tetapi, tidak semua titik pengukuran memiliki hubungan terbalik antara jumlah iterasi dengan nilai misfit seperti yang dijelaskan diatas.



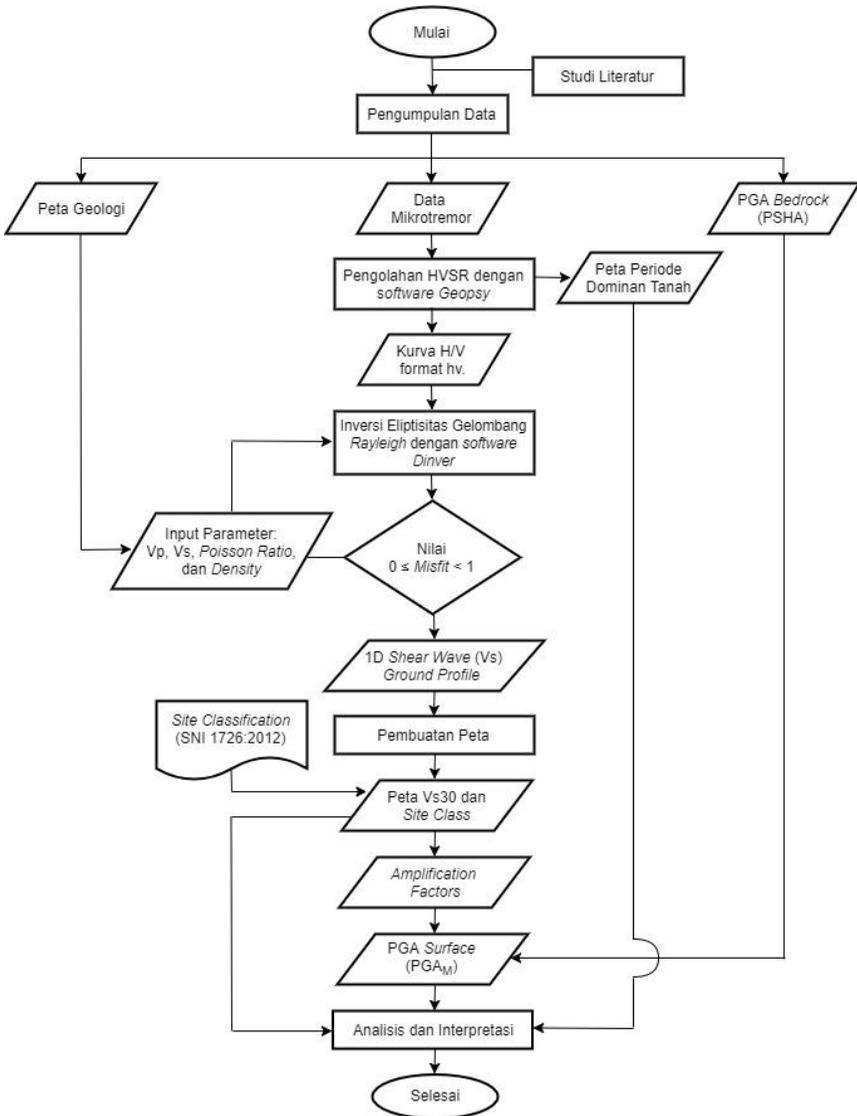
Gambar 3.11 Grafik *minimum misfit* terhadap *generated model*

Tabel 3.3 Proses *running* inversi eliptisitas gelombang *Rayleigh*

Pen	Run name	Min misfit	Valid models	Active models	Visited models	Rate
1	run_01	1.42475	20100/0	20100	20100	0.259279 m/s
2	run_02	1.10631	20100/0	20100	20100	0.259279 m/s
3	run_03	1.09582	20100/0	20100	20100	0.259279 m/s
4	run_04	1.07167	20100/0	20100	20100	0.259279 m/s
5	run_06	0.968702	20100/0	20100	20100	0.259279 m/s
6	run_07	0.799733	20100/0	20100	20100	0.259279 m/s
7	run_08	0.668598	30100/0	30100	30100	0.388274 m/s

Pada Gambar 3.9, terlihat bahwa adanya beberapa kurva yang mencerminkan proses iterasi sebagaimana Tabel 3.3. Model perhitungan (*estimate model*) hasil inversi akan semakin representatif jika kurva pada grafik minimum misfit mendekati nilai 0 pada sumbu y. Ketika inisiasi parameter untuk model awal sesuai, maka nilai *generated model* semakin besar sehingga nilai misfit yang didapat semakin kecil. Hal tersebut dapat dilakukan secara berkala dengan meningkatkan nilai iterasi maksimum hingga diperoleh nilai misfit dibawah angka satu seperti pada tabel 3.3.

Berikut ini merupakan diagram alir secara rinci untuk tahapan inversi HVSR dengan memanfaatkan kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh*:



Gambar 3.12 Diagram alir inversi HVSR dengan pendekatan kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh*

### 3.5.3 Perhitungan Nilai Vs30

Hasil dari inversi HVSR dengan pendekatan kurva eliptisitas gelombang Rayleigh terdiri dari tiga parameter, yaitu;  $V_p$  (kecepatan gelombang kompresional),  $V_s$  (kecepatan gelombang geser), dan  $\rho$  (massa jenis). Ketiga parameter tersebut berupa model dalam bentuk 1D yang diplot terhadap kedalaman. Namun dalam penelitian ini hanya dibutuhkan parameter  $V_s$  sebagai acuan untuk menentukan *site classification*. Sehingga kedua parameter yang lain yaitu  $V_p$  dan density diabaikan.

Adapun perhitungan nilai  $V_s30$  digunakan persamaan 2.9. Dari persamaan tersebut dapat diperoleh parameter  $V_s30$  di tiap titik pengukuran mikrotremor. Dikarenakan data  $V_s30$  yang diperoleh hanya di tiap titik pengukuran, maka perlu dilakukan pemetaan beserta tahap interpolasi sehingga didapatkan persebaran nilai  $V_s30$  secara merata di wilayah penelitian. Peta distribusi nilai  $V_s30$  nantinya dapat dijadikan validasi dan data pendukung dalam proses analisis bahaya gempabumi.

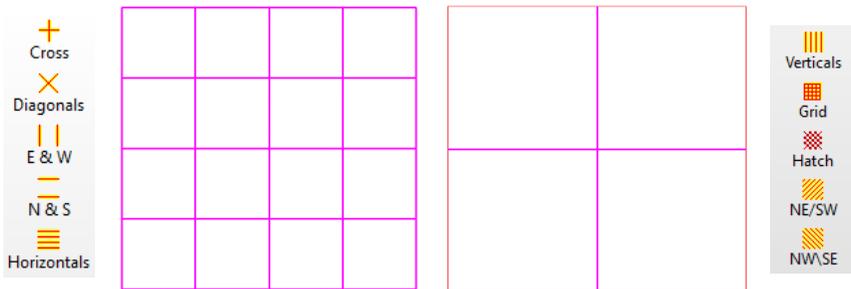
### 3.5.4 Pembuatan Model 3D Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ )

Nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) terhadap kedalaman (*depth*) hasil inversi berupa model 1D dapat dikonstruksi menjadi model 3D menggunakan program *RockWorks*. Pembuatan model 3D ini supaya memudahkan dalam analisis dan interpretasi litologi terutama kaitannya terhadap ketebalan sedimen. Lapisan sedimen yang lunak akan cenderung memiliki nilai  $V_s$  rendah. Hal ini dikarenakan lapisan sedimen seperti kerikil, pasir, dan lempung memiliki densitas yang rendah. Dimana parameter densitas dan nilai kecepatan memiliki hubungan yang linear. Berikut merupakan tampilan *datasheet* nilai  $V_s$  hasil inversi terhadap kedalaman serta terkoreksi terhadap nilai elevasi.

Row#	Use	UTM Easting	UTM Northing	Depth	Vs	Elevation	Depth Koreksi
		UTM Meters	UTM Meters	Meters		Meters	Meters
1	<input checked="" type="checkbox"/>	419894.79	081005.82	-12	384	346	334
2	<input checked="" type="checkbox"/>	419894.79	081005.82	-31	850	346	315
3	<input checked="" type="checkbox"/>	419894.79	081005.82	-100	1375	346	246
4	<input checked="" type="checkbox"/>	429385.15	091207.88	-5	368	20	15
5	<input checked="" type="checkbox"/>	429385.15	091207.88	-96	725	20	-76
6	<input checked="" type="checkbox"/>	429385.15	091207.88	-100	1300	20	-80
7	<input checked="" type="checkbox"/>	440998.47	086539.72	-5	301	176	171
8	<input checked="" type="checkbox"/>	440998.47	086539.72	-31	750	176	145
9	<input checked="" type="checkbox"/>	440998.47	086539.72	-100	1500	176	76

Gambar 3.13 *Datasheet velocity model 3D* pada jendela *RockWorks*

Setelah diperoleh hasil berupa solid model 3D nilai Vs, maka langkah selanjutnya adalah membuat slicing model dari data yang sama. Tujuan dibuatnya slicing model 2,5D ini supaya dapat diketahui bagaimana persebaran nilai Vs di dalam kontruksi solid model yang telah dihasilkan sebelumnya. Maka, dengan model tersebut dapat diketahui seberapa tebal lapisan sedimen serta geometri persebarannya di Pulau Lombok. Penentuan ketebalan sedimen ini untuk memperkuat analisis dan zonasi bahaya gempa yang mengakibatkan deformasi tanah dan menimbulkan kerusakan bangunan yang berdiri di atasnya. Berikut adalah geometri penampang (*fence*) terhadap *solid* model 3D kecepatan gelombang geser (Vs) yang disayat berbentuk *grid* dan *cross-section*.



Gambar 3.14 Pembuatan sayatan (*fence*) pada 3D *soild* model

### 3.5.5 Penentuan *Site Classification* dan Faktor Amplifikasi

Untuk mengetahui karakteristik tanah di bawah permukaan, maka perlu dilakukan tahap *site classification* berdasarkan parameter tertentu. Pada penelitian ini, digunakan parameter Vs30 untuk menentukan kelas situs di wilayah penelitian. Pembagian kelas situs ini supaya memudahkan analisis dan interpretasi bahaya gempabumi. Ada beberapa pedoman dalam menentukan kelas situs, salah satunya yaitu berdasarkan SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Tabel 3.4 Proses *running* inversi eliptisitas gelombang *Rayleigh*

No	Kelas Situs	Definisi	Vs (m/s)
1	SA	Batuan Keras	> 1500
2	SB	Batuan	$750 < V_s \leq 1500$
3	SC	Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$
4	SD	Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$
5	SE	Tanah Lunak	< 175

Kemudian dalam menentukan faktor amplifikasi digunakan acuan yang sama (SNI 1726:2012). Faktor amplifikasi ini berperan untuk menghasilkan parameter percepatan tanah maksimum di permukaan. Penentuan faktor amplifikasi ini dikontrol oleh kelas situs di setiap titik serta dipengaruhi oleh besarnya percepatan tanah maksimum di batuan dasar. Persamaan untuk menentukan percepatan tanah maksimum berdasarkan parameter faktor amplifikasi adalah sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \quad (3.5)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (3.6)$$

Dimana  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$  masing-masing yaitu parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (0.2 detik) dan periode panjang (1 detik) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs. Sedangkan  $S_S$  dan  $S_I$  adalah parameter respons spektral percepatan di batuan dasar untuk periode pendek (0.2 detik) dan periode panjang (1 detik). Adapun  $F_a$  dan  $F_v$  merupakan faktor amplifikasi untuk percepatan di periode pendek dan panjang.

Sedangkan untuk menentukan percepatan tanah maksimum di permukaan pada periode nol, maka digunakan persamaan:

$$PSA = F_{PGA} \cdot PGA \quad (3.7)$$

Dimana  $PGA_M$  adalah percepatan tanah maksimum di permukaan pada period enol,  $PGA$  percepatan tanah maksimum di batuan dasar, kemudian  $PSA$  adalah koefisien situs atau faktor amplifikasi akibat pengaruh kelas situs. Berikut merupakan tabel koefisien situs atau faktor amplifikasi yang dipengaruhi oleh kelas situs dan parameter percepatan tanah di batuan dasar.

Tabel 3.5 Keofisien situs,  $F_a$  (SNI 1726:2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda pendek, $T=0.2$ detik, $S_S$				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.5$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
SE	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

Tabel 3.6 Keofisien situs,  $F_v$  (SNI 1726:2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda panjang, $T=1$ detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

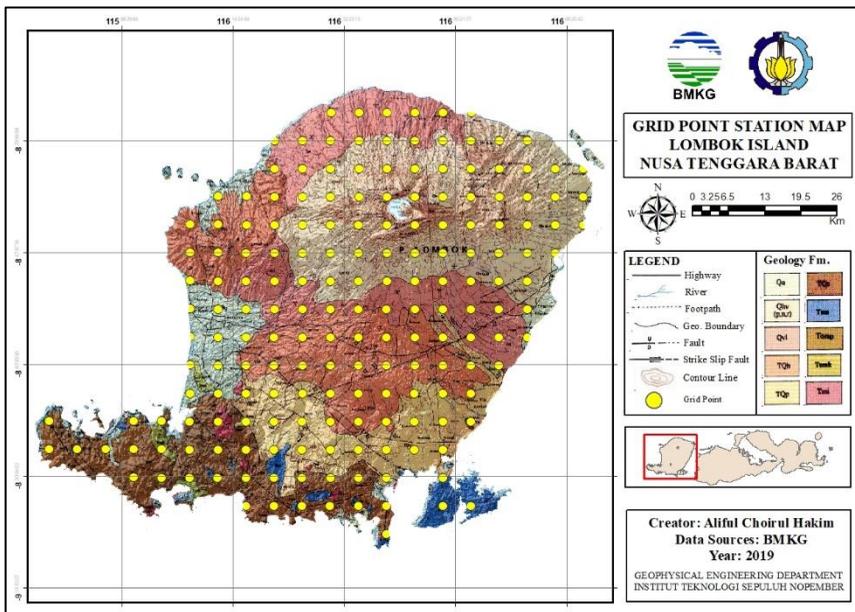
Tabel 3.7 Keofisien situs,  $F_{PGA}$  (SNI 1726:2012)

Kelas Situs	Parameter percepatan gempa di permukaan (PSA) terpetakan pada perioda panjang 0 detik, $PGA$				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
SE	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9

### 3.6 Penentuan Titik Pengamatan (*Gridding*)

Pembuatan titik-titik pengamatan di wilayah penelitian untuk memudahkan dalam menentukan faktor amplifikasi yang dipengaruhi oleh kelas situs dan  $PGA$  (*Peak Ground Acceleration*) di batuan dasar. Titik stasiun pengamatan di wilayah penelitian (Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat) dibuat dengan menggunakan program *ArcMap*. Pembuatan titik pengamatan tersebut memanfaatkan prinsip *Gridding*, yaitu membuat *grid* / garis lintang-bujur di seluruh Pulau Lombok dan menetapkan titik pengamatan di setiap perpotongan kedua garis tersebut. Data yang dibutuhkan adalah *shapefile* wilayah Pulau Lombok beserta peta geologi. Selanjutnya dilakukan proses *clipping* sehingga diperoleh peta geologi dalam batasan *shapefile* daratan Pulau Lombok. Untuk melakukan proses *Gridding*, maka digunakan menu *Fishnet*. Konsep *Fishnet* pada program *ArcMap* ini secara umum yaitu dengan membuat *grid* (garis lintang-bujur) beserta *point* (titik) di perpotongan kedua garis. Di setiap titik dapat diekstrak koordinat lokasi dengan melakukan *calculate geometry* pada

*attribute table*. Sistem koordinat yang didapatkan bisa disesuaikan dengan kebutuhan, baik dalam sistem geografis maupun UTM (*Universal Transverse Mercator*). Sehingga cara ini dianggap lebih cepat dan praktis dibanding dengan melakukan digitasi secara manual. Adapun jarak interval yang digunakan untuk setiap titik yaitu sejauh 5km dan diperoleh sebanyak 182 titik di wilayah penelitian. Berikut merupakan peta titik pengamatan pada penelitian ini:



Gambar 3.15 Peta titik pengamatan dengan metode *Gridding*

### 3.7 Pembuatan Peta dan Analisis Bahaya Gempa

Setelah diperoleh berbagai parameter seperti Periode Dominan Tanah ( $T_{dom}$ ),  $V_{s30}$ , *site class*, dan percepatan tanah maksimum di permukaan (PSA), maka selanjutnya dilakukan pembuatan peta berdasarkan parameter-parameter tersebut. Dikarenakan data parameter diatas bersifat diskrit di setiap titik tertentu, maka perlu dilakukan interpolasi supaya diperoleh distribusi data secara menerus (*continuous data*). Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbuatlah peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah (Gamma, 2005). Pada penelitian ini, metode interpolasi yang digunakan adalah *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan *Spline*. Metode IDW merupakan interpolasi secara deterministic yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya (NCGIA, 1997). Konsep dari IDW yaitu nilai interpolasi akan semakin sama pada data sampel yang relatif lebih dekat daripada titik yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai

dengan jaraknya dengan data sampel. Adapun nilai power yang digunakan untuk penelitian ini yaitu sebesar 4 (empat). Metode IDW tersebut diterapkan pada pemetaan tiga parameter, antara lain; periode dominan (Tdom), Vs30, dan *site classification* (kelas situs). Sedangkan metode interpolasi *Spline* adalah metode yang mengestimasi nilai dengan menggunakan fungsi matematika yang meminimalisir total kelengkungan permukaan (Binh dan Thuy, 2008; Childs, 2004). Parameter *Spline Type* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Regularized*. Pengaplikasian Spline digunakan pada pemetaan sebaran PGA Bedrock / batuan dasar dan PGA di permukaan (PSA).

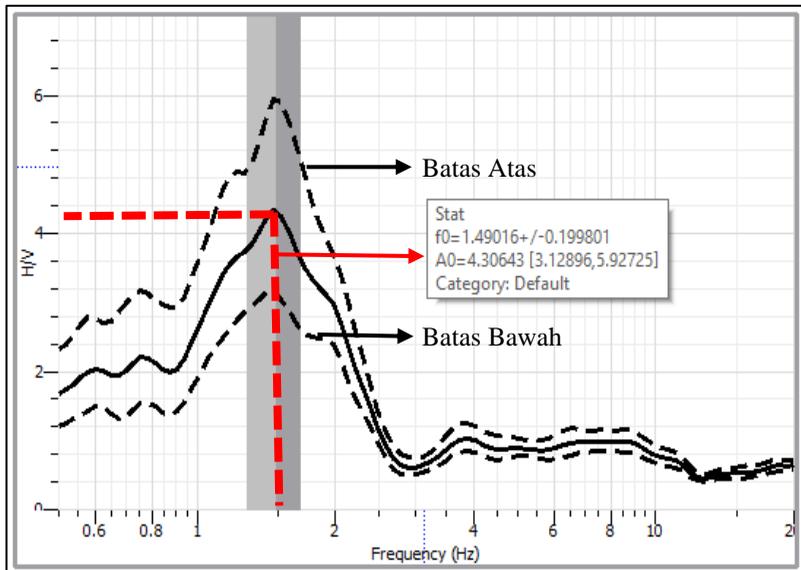
Analisis bahaya gempa pada penelitian ini secara umum digunakan dua acuan; yaitu dengan mengamati karakteristik bawah permukaan tanah serta menganalisis sebaran nilai PSA (percepatan tanah maksimum di permukaan). Adapun nilai PGA batuan dasar untuk dijadikan nilai PSA digunakan pendekatan probabilistik yang memperhitungkan beberapa kemungkinan. Sedangkan parameter yang memengaruhi karakteristik tanah antara lain; periode dominan (Tdom), Vs30, dan kelas situs. Penggunaan dua faktor acuan tersebut nantinya dapat merepresentasikan zona bahaya gempabumi di wilayah penelitian. Nantinya, zonasi bahaya gempabumi dilakukan melalui dua pendekatan; pertama yaitu daerah yang berpotensi mengalami kerusakan infrastruktur dan kedua adalah daerah yang berpotensi terkena guncangan tanah cukup kuat akibat gempa.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis HVSR

#### 4.1.1 Penentuan Nilai Amplifikasi dan Frekuensi Natural (F0)

Hasil pengukuran mikrotremor single station berupa data rekaman seismogram (waveform) komponen vertikal (Up-Down), komponen horizontal Utara-Selatan (North-South), dan komponen horizontal Timur-Barat (East-West) dalam domain waktu. Data tersebut dilakukan proses *windowing*, FFT (*Fast Fourier Transform*), dan *smoothing* sehingga dihasilkan kurva HVSR dalam domain frekuensi. Kurva HVSR yang dihasilkan terdiri dari tiga bagian kurva. Dimana kurva dengan warna hitam menunjukkan kurva rata-rata HVSR, sedangkan kurva yang berbentuk garis hitam putus-putus merupakan simpangan (batas bawah dan batas atas) kurva HVSR. Berikut adalah contoh salah satu kurva HVSR hasil pengukuran di titik Tanjung.



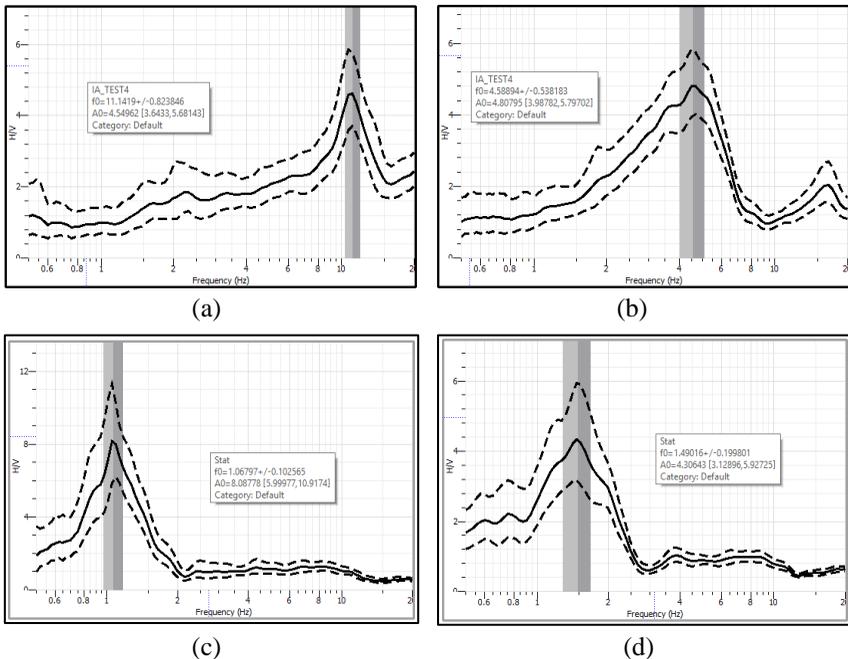
Gambar 4.1 Kurva HVSR hasil pengukuran di titik Tanjung.

Dari kurva HVSR diatas, diperoleh dua parameter utama yaitu Amplifikasi dan Frekuensi Natural (F0) dengan masing-masing nilai sebesar 4,30643 dan 1,49016 Hz. Kedua parameter tersebut diperoleh dari hasil rata-rata kurva HVSR dari simpangan batas atas dan bawah yang kemudian diplot terhadap sumbu X (amplifikasi) dan sumbu Y (frekuensi). Frekuensi natural pada kurva HVSR berkorelasi dengan puncak tertinggi dari amplitudo kurva dikarenakan parameter tersebut merupakan frekuensi yang mendominasi di

lapisan sedimen titik pengukuran sehingga sering disebut dengan frekuensi dominan. Sedangkan nilai amplifikasi ( $A_g$ ) pada kurva HVSR menandakan adanya penguatan gelombang permukaan di titik pengukuran akibat perbedaan kontras impedansi lapisan tanah yang berbeda. Hasil dari nilai amplifikasi ( $A_g$ ) dan frekuensi natural ( $F_0$ ) juga dipengaruhi oleh pemilihan parameter lebar dan jumlah *window*, serta bagaimana pemilihan sinyal stationer saat tahap *windowing*.

#### 4.1.2 Karakterisasi Topologi Kurva HVSR

Kondisi geologi bawah permukaan di wilayah penelitian akan memengaruhi bagaimana bentuk kurva HVSR yang dihasilkan. Karakteristik kurva HVSR ditunjukkan dengan pola kurva HVSR yang terbentuk dari proses analisis HVSR yang telah dilakukan. Berikut ini merupakan kurva HVSR hasil analisis HVSR di empat titik pengukuran dengan topologi kurva yang berbeda-beda.



Gambar 4.2 Kurva HVSR dengan topologi berbeda di empat titik pengukuran; (a) Batu Jangkih, (b) Pelangan, (c) Medana, dan (d) Tanjung

Bentuk kurva seperti pada gambar 4.2 (a) dan (c) menunjukkan satu puncak kurva yang jelas yang muncul sebagai salah satu buah puncak tunggal dengan nilai signifikan. Penyebabnya dikarenakan adanya kontras impedansi

pada suatu kedalaman tertentu sehingga gelombang permukaan mengalami amplifikasi. Sedangkan kurva dua puncak (double peak) dikarenakan kontras impedansi di beberapa kedalaman tertentu. Baik pada kedalaman dangkal maupun kedalaman yang lebih dalam. Hal tersebut mengindikasikan bahwa gelombang permukaan melewati beberapa jenis lapisan yang berbeda lebih dari dua layer. Misalnya pada lapisan permukaan tersusun atas sedimen non-kompak, kemudian dibawahnya sedimen yang lebih padat, dan disusul oleh batuan dasar (*bedrock*) yang cukup kompak di kedalaman paling bawah. Adapun topologi kurva terakhir berupa puncak lebar (broad peak). Umumnya disebabkan cekungan suatu lembah pada batuan dasar (*bedrock*) yang miring dengan dip tertentu, atau bisa juga adanya variasi struktur sedimen-bedrock (Arifudin, 2018). Berikut ini merupakan hasil analisis HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) di semua titik pengukuran.

Tabel 4.1 Hasil analisis HVSR untuk semua titik pengukuran

No	Nama Titik	Amplifikasi (Ag)	Frekuensi Natural (F0)
1	Pandua Daya	5.01606	7.94622
2	Akar-Akar	3.47927	1.06137
3	Sambik Elen	2.80852	2.5444
4	Senaru	3.68574	8.48774
5	Mandalika Kuta	-3.04802	2.62231
6	Pare Semoyang	7.16605	3.34161
7	Lungkak Ketapang	2.1184	4.06446
8	Poh Gading	1.87682	4.90317
9	Yonif	1.34898	11.9055
10	Dasan Taapen	4.66434	9.06756
11	Batu Jangkih	4.54962	11.1419
12	Bayan	2.85901	1.8317
13	Belanting	2.70444	17.3835
14	Bonder	4.48576	1.49786
15	Gangga	3.04793	5.16178
16	Gapuk	4.18109	23.8106
17	Hotel Mataram	5.53326	0.462704
18	Karang Ruma	8.15401	7.2649

19	Medana	8.08778	1.06797
20	Pandan Duri	5.16527	13.1951
21	Pandora Hotel	6.75442	0.465679
22	Pelangan	4.80795	4.58894
23	Praya Barat Daya	8.4315	15.6038
24	Sanggok	7.24552	3.21269
25	Sekoteng Tengah	11.9526	0.732196
26	Sembalun	3.26302	14.4618
27	SMP 2 Praya Barat	3.17016	9.86664
28	Tanjung	4.30643	1.49016
29	Golong	3.35138	9.67002
30	Anjani	3.28500	11.46290
31	Beraim	3.29350	9.71053
32	Sakra Selatan	3.21384	1.54934

Besar kecilnya nilai frekuensi natural ( $F_0$ ) mencerminkan kondisi struktur bawah permukaan di wilayah penelitian. Secara umum, nilai parameter ini ada kaitannya dengan seberapa dalam bidang pantul bawah permukaan atau batas antara lapisan sedimen dengan batuan dasar (bedrock). Semakin kecil nilai frekuensi dominan (periode gelombang panjang), maka bidang pantul gelombang permukaan (Rayleigh) yang terbentuk semakin dalam. Hal ini menunjukkan lapisan sedimen di atas batuan dasar semakin tebal. Sebaliknya, semakin tinggi nilai frekuensi dominan, maka semakin dangkal bidang pantul gelombang permukaan (Rayleigh) atau lapisan sedimen yang terbentuk semakin tipis. Adapun nilai amplifikasi pada kurva HVSR menunjukkan besarnya penguatan gelombang permukaan yang terjadi. Apabila nilai amplifikasi semakin besar, maka hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kontras / perbedaan nilai impedansi yang cukup besar antara lapisan satu dengan lapisan lainnya yang dalam hal ini dipengaruhi oleh parameter densitas dan kecepatan lapisan bawah permukaan.

#### 4.1.3 Distribusi dan Pemetaan Nilai Periode Dominan ( $T_{dom}$ )

Nilai periode dominan merupakan kebalikan dari parameter frekuensi natural. Parameter ini merupakan waktu yang dibutuhkan oleh gelombang permukaan (Rayleigh) pada pengukuran mikrotremor untuk merambat di suatu medium tertentu dan mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Nilai periode dominan ( $T_{dom}$ ) dapat mengindikasikan karakter

lapisan batuan serta ketebalan lapisan sedimen di wilayah penelitian. Penggunaan parameter periode dominan sendiri relatif lebih sering digunakan pada bidang mikrozonasi bahaya gempabumi dibanding frekuensi natural ( $F_0$ ). Berikut ini merupakan hasil pengolahan HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk parameter periode dominan pada semua titik pengukuran.

Tabel 4.2 Hasil periode dominan (Tdom) untuk semua titik pengukuran

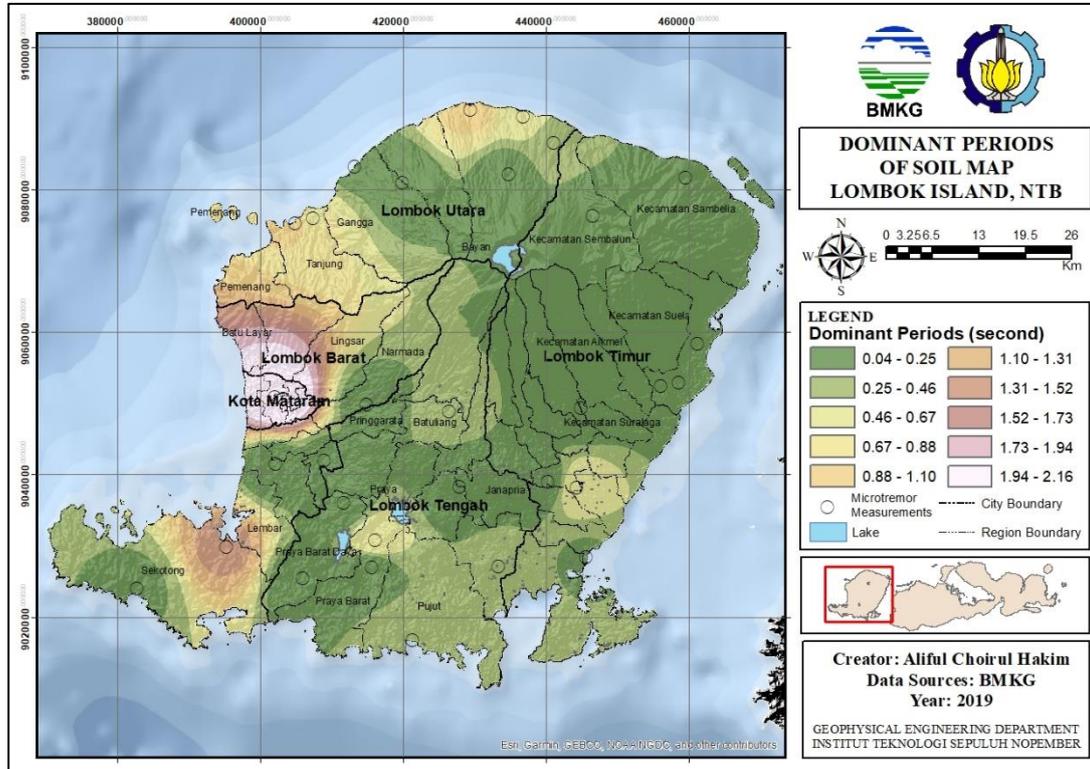
<b>No</b>	<b>Nama Titik</b>	<b>Periode Dominan (Tdom)</b>
1	Pandua Daya	0.125846
2	Akar-Akar	0.942178505
3	Sambik Elen	0.393019965
4	Senaru	0.117816993
5	Mandalika Kuta	0.381343167
6	Pare Semoyang	0.299256945
7	Lungkak Ketapang	0.246035144
8	Poh Gading	0.20394969
9	Yonif	0.083994792
10	Dasan Taapen	0.110283252
11	Batu Jangkih	0.089751299
12	Bayan	0.545940929
13	Belanting	0.057525815
14	Bonder	0.667619137
15	Gangga	0.19373162
16	Gapuk	0.041998102
17	Hotel Mataram	2.161208894
18	Karang Ruma	0.137648144
19	Medana	0.93635589
20	Pandan Duri	0.075785708
21	Pandora Hotel	2.147401966
22	Pelangan	0.217915248
23	Praya Barat Daya	0.064086953
24	Sanggok	0.311265637

25	Sekoteng Tengah	1.365754525
26	Semalun	0.069147686
27	SMP 2 Praya Barat	0.101351625
28	Tanjung	0.671068879
29	Golong	0.10341
30	Anjani	0.08724
31	Beraim	0.10298
32	Sakra Selatan	0.64544

Dari data di setiap pengukuran sebagaimana tabel diatas, maka selanjutnya dilakukan pemetaan 2,5 D untuk mengetahui distribusi / persebaran parameter periode dominan ( $T_{dom}$ ) secara merata di Pulau Lombok. Dari gambar 4.3, dapat diamati bahwa sebaran nilai periode dominan di wilayah penelitian berkisar antara 0,04 detik hingga 2,16 detik. Menurut tabel klasifikasi jenis tanah berdasarkan parameter  $T_{dom}$  menurut Zhao (2004), maka peta diatas dapat digolongkan menjadi empat kelas yang berbeda. Dimana wilayah Kota Mataram dan sebagian besar Kabupaten Lombok Barat mempunyai nilai periode dominan antara 0.88 detik hingga 2,16 detik. Sehingga dapat dikelompokkan dalam kelas SC IV (Soft Soil) atau tanah lunak. Tingginya nilai periode dominan ini mengindikasikan adanya lapisan sedimen yang cukup tebal. Hal tersebut berkorelasi dengan formasi geologi di Pulau Lombok bagian barat yang didominasi oleh Aluvium yang mana batuan penyusunnya terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, dan lempung.

Nilai periode dominan yang relatif tinggi juga terdapat di bagian barat Kabupaten Lombok Utara yang juga masih terdapat formasi alluvium. Selain disebabkan oleh Aluvium, ada juga wilayah dengan nilai periode dominan cukup tinggi dengan nilai 1,10 – 1,73 detik di daerah Sekotong (bagian barat daya Kabupaten Lombok Barat). Hal ini bersesuaian dengan formasi geologi di wilayah tersebut yaitu formasi Kawangan (Tomk). Dimana batuan penyusunnya terdiri dari perselingan batupasir kuarsa, batulempung, dan breksi. Sedangkan nilai  $T_{dom}$  yang relatif tinggi terdapat di sebagian besar Kabupaten Lombok Timur, Kabupaten Lombok Tengah, dan sebagian kecil wilayah Kabupaten Lombok Utara. Rentang nilai  $T_{dom}$  yang diperoleh yaitu antara 0,04 – 0,67 detik. Sehingga dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelas yang berbeda, antara lain; kelas SC I (Rock/stiff soil), SC II (Hard soil), dan SC III (Medium Soil). Relatif rendahnya distribusi nilai periode dominan di wilayah tersebut disebabkan pengaruh formasi geologi dan penyusun batuan dominannya. Terutama pada wilayah di sekitar area Gunung Rinjani yang tersusun atas batuan-batuan vulkanik seperti lava, breksi, dan tuf. Batuan-batuan tersebut tersebar di

mayoritas formasi geologi Pulau Lombok diantaranya; Batuan Gunungapi Tak Terpisahkan di area Gunung Rinjani, Formasi Lekopiko (Qv1), dan Formasi Kalibabak (TQb).



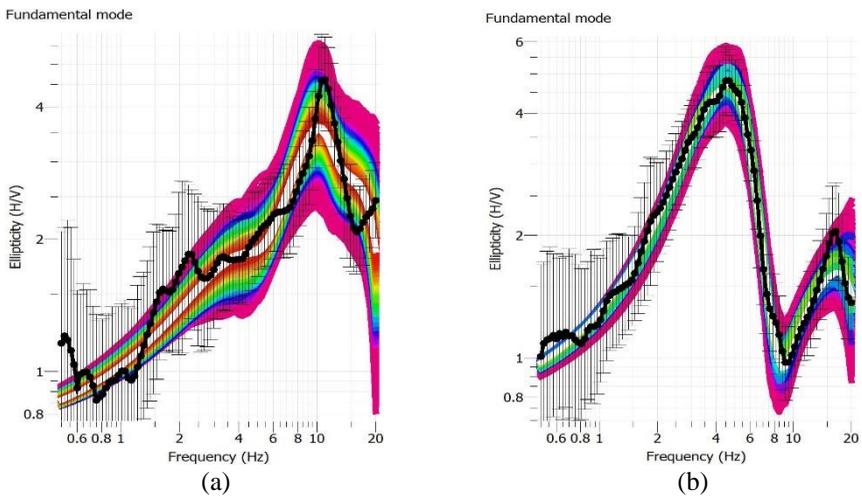
Gambar 4.3 Peta distribusi nilai Periode Dominan (Tdom) Pulau Lombok

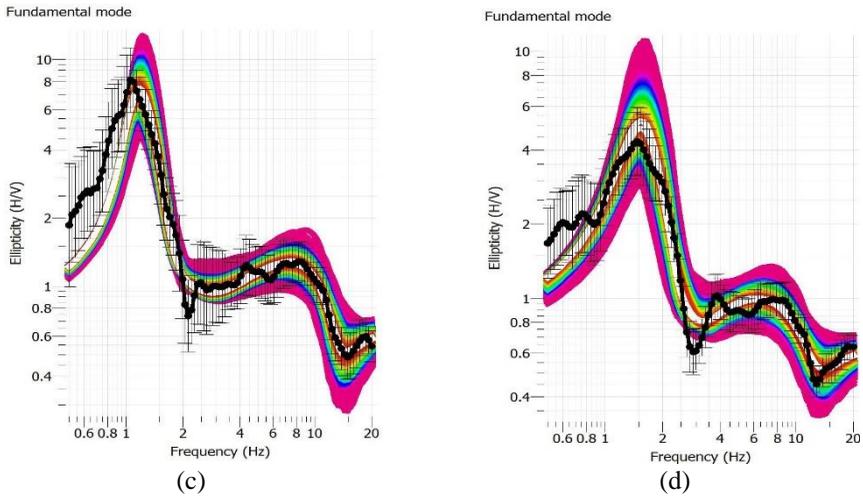
## 4.2 Inversi HVSr

### 4.2.1 Analisis Kurva Eliptisitas Gelombang *Rayleigh*

Hasil pengolahan spektrum sinyal (*waveform*) mikrotremor pada perangkat lunak *Sesarray Geopsy* yang disimpan dalam ekstensi “.hv” dijadikan input data pada tahap inversi HVSr menggunakan program *dinver*. Proses inversi ini menggunakan pendekatan kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh*. Disebut demikian karena metode mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan khususnya gelombang *Rayleigh*. Gelombang *Rayleigh* yang terbentuk akibat interferensi gelombang pantul P dan SV mempunyai sudut datang melebihi sudut kritis. Adanya kombinasi gerak partikel gelombang P dan SV ini menyebabkan gerak partikel medium ketika dilewati oleh gelombang tersebut berbentuk elips (Afnimar, 2009). Rasio gerakan partikel horizontal dan vertikal inilah yang disebut eliptisitas gelombang *Rayleigh* (Hobiger, 2013).

Bentuk kurva eliptisitas ini berkorelasi dengan kurva HVSr yang dihasilkan dari analisis HVSr di program *Sesarray Geopsy*. Pemilihan parameter pada tahap analisis HVSr seperti perbandingan STA dan LTA serta jumlah *windowing* akan memengaruhi proses inversi. Berikut adalah contoh hasil inversi kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* di beberapa titik pengukuran.





Gambar 4.4 *Ellipticity Curve* gelombang Rayleigh hasil inversi di empat titik pengukuran; (a) Batu Jangkih, (b) Pelangan, (c) Medana, dan (d) Tanjung

Keempat kurva diatas merupakan salah satu dari hasil inversi mikrotremor *single station* yang mana nantinya dijadikan acuan atau validasi data apakah hasil inversi yang didapat bersifat representatif atau tidak. Dalam satu grafik yang terdiri dari plot eliptisitas H/V (sumbu Y) terhadap nilai frekuensi (sumbu X), terdapat beberapa macam kurva dengan warna tertentu. Kurva berwarna hitam merupakan data observasi ( $D_{obs}$ ) atau model inisial / referensi untuk proses inversi, dimana kurva tersebut adalah hasil analisis HVSR untuk tiap titik pengukuran di lapangan. Sedangkan spektrum warna kurva selain hitam merupakan hasil model estimasi ( $M_{est}$ ) dari proses inversi untuk masing-masing nilai misfit. Kurva berwarna merah muda adalah pemodelan inversi dengan misfit terbesar, adapun spektrum berwarna putih mempunyai nilai misfit terkecil. Sehingga, kurva dengan warna putih yang nantinya dijadikan sebagai “*best model*” atau model akhir untuk analisis lebih lanjut.

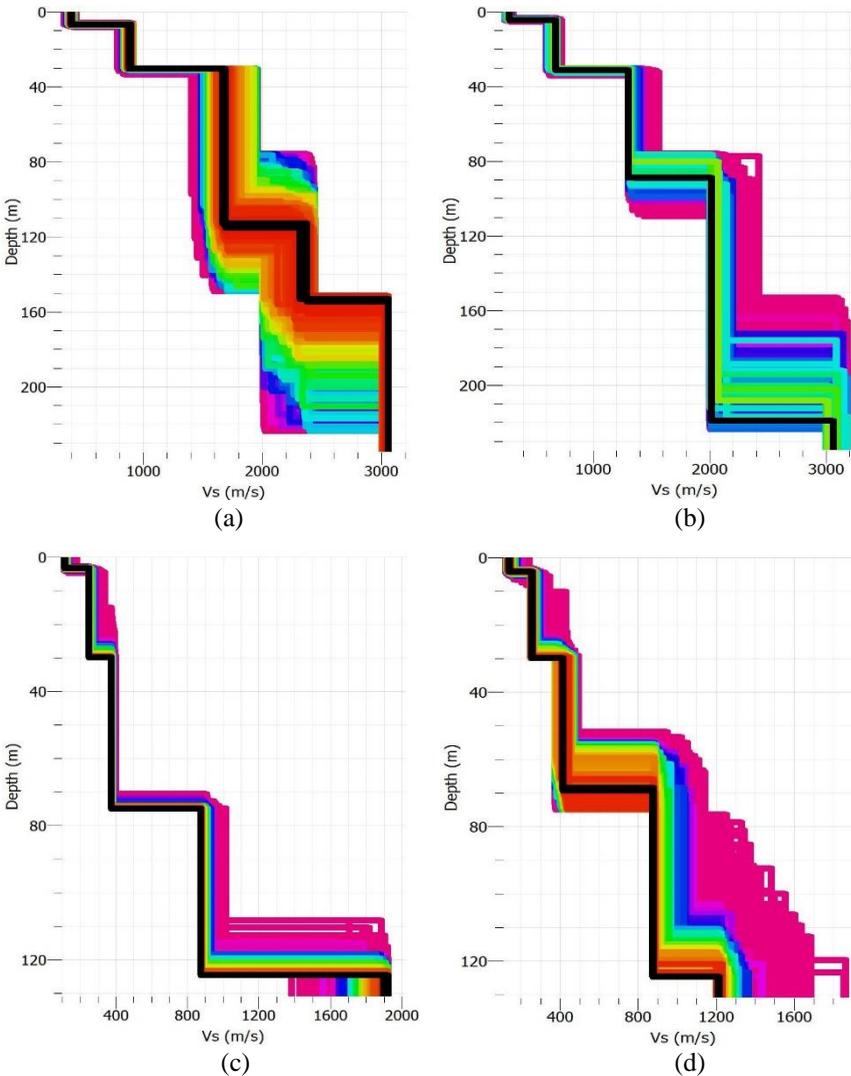
Model estimasi akan semakin berhimpit dengan inisial model ( $D_{obs}$ ) apabila nilai misfit yang diperoleh semakin kecil. Hal itu dibuktikan pada gambar 4.4 untuk semua titik pengukuran, dimana spektrum kurva berwarna putih dengan misfit terkecil dibanding spektrum warna lain relatif lebih berhimpit dengan kurva pada model inisial. Sehingga berdasarkan konsep tersebut, kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* dapat dijadikan komponen validitas data hasil inversi. Namun, terdapat kondisi tertentu dimana kurva eliptisitas tersebut tidak dapat dijadikan acuan. Misal terdapat hasil inversi dengan nilai misfit yang relatif kecil namun memiliki bentuk kurva dengan *error bar* yang cukup lebar, maka

hal tersebut kurang representatif. Untuk meminimalisir hal itu, maka diperlukan ketelitian pada proses *windowing* di tahap analisis HVSR. Apabila dalam proses *windowing* yang dilakukan sesuai dengan kaidah yang benar yaitu memilih dan memilah waveform yang stationer, maka grafik *error bar* pada kurva eliptisitas akan semakin kecil dan berhimpit pada spektrum warna hitam (kurva inisiasi model). Karena pada prinsipnya, model estimasi yang dihasilkan dari inversi ini tidak akan melebihi lebar *error bar* terhadap kurva inisiasi model.

#### 4.2.2 Model Kecepatan Gelombang Geser (Vs) 1D

Kurva pada *ellipticity curve* merupakan kurva yang merepresentasikan data dari nilai frekuensi serta nilai eliptisitas gelombang Rayleigh yang nantinya digunakan untuk analisis ground profile Vs untuk setiap titik pengukuran. Sehingga hasil yang diperoleh dari proses inversi mikrotremor selain *ellipticity curve* yaitu profil model kecepatan gelombang geser (Vs) satu dimensi. Profil tersebut terdiri dari besarnya rentang nilai Vs (sumbu X) terhadap kedalaman atau ketebalan tiap lapisan (sumbu Y). Seperti halnya konsep pada penjelasan *ellipticity curve* sebelumnya, proses inversi ini bekerja dengan melakukan iterasi pada inisial model (Dobs) untuk disesuaikan dengan kurva HVSR hasil pengukuran hingga diperoleh model estimasi (*best model*) yang sedikit ketidakcocokkannya (*misfit*) dengan kurva HVSR hasil pengukuran.

Hasil ground profile Vs yang diperoleh sangat bergantung pada beberapa parameter yang dijadikan sebagai inisialisasi awal, yaitu kecepatan gelombang kompresional ( $V_p$ ), kecepatan gelombang geser (Vs), poisson's ratio, dan densitas batuan. Nilai-nilai parameter tersebut disesuaikan dengan kondisi geologi dan batuan penyusun yang dominan di masing-masing formasi di wilayah penelitian. Karena keterbatasan data properti batuan, maka digunakan peta geologi untuk mengetahui jenis-jenis batuan penyusun di setiap formasi serta peta topografi dari data DEM (Digital Elevation Model) untuk mengetahui prakiraan sebaran sedimen pada permukaan tanah yang umumnya landai. Berikut merupakan ground profile hasil inversi kurva eliptisitas gelombang Rayleigh di empat titik pengukuran.



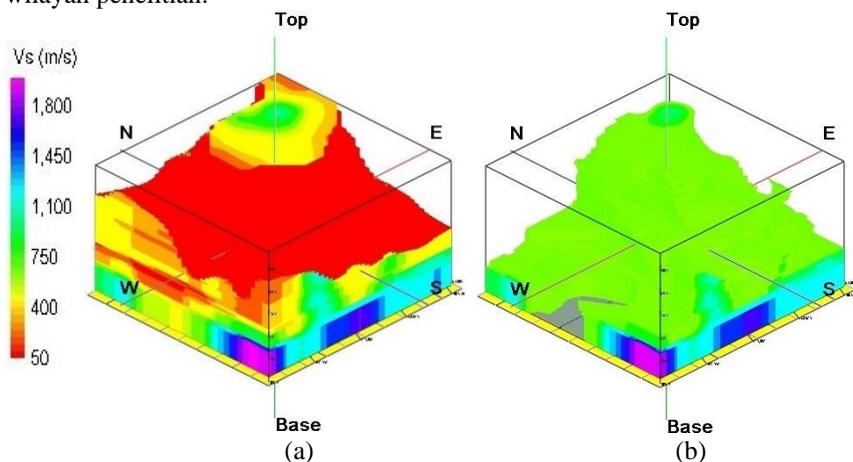
Gambar 4.5 *Ellipticity Curve* gelombang *Rayleigh* hasil inversi di empat titik pengukuran; (a) Batu Jangkih, (b) Pelangan, (c) Medana, dan (d) Tanjung

Hasil analisis *ground profile* di Pulau Lombok menunjukkan persebaran nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) di setiap titik relatif beragam. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa di wilayah Batu Jangkih (a) dan Pelangan (b), masing-masing mempunyai nilai  $V_s$  minimum sebesar 375 m/s dan 265 m/s serta nilai  $V_s$

maksimum 1675 m/s dan 2000 m/s. Sedangkan untuk wilayah Medana (c) dan Tanjung (d) mempunyai nilai kecepatan gelombang geser yang relatif kecil. Hal tersebut dikarenakan kedua titik ini terletak pada formasi aluvium yang batuan penyusunnya terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut. Sedangkan wilayah Batu Jangkih dan Pelangan terdapat pada formasi Pengulung yang didominasi oleh batuan vulkanik (breksi, lava, dan tuf). Adapun nilai Vs minimum untuk wilayah Medana dan Tanjung masing masing sebesar 107 m/s dan 131 m/s serta nilai maksimum yang sama yakni 875 m/s.

### 4.2.3 Model Kecepatan Gelombang Geser (Vs) 3D dan Analisis Ketebalan Sedimen

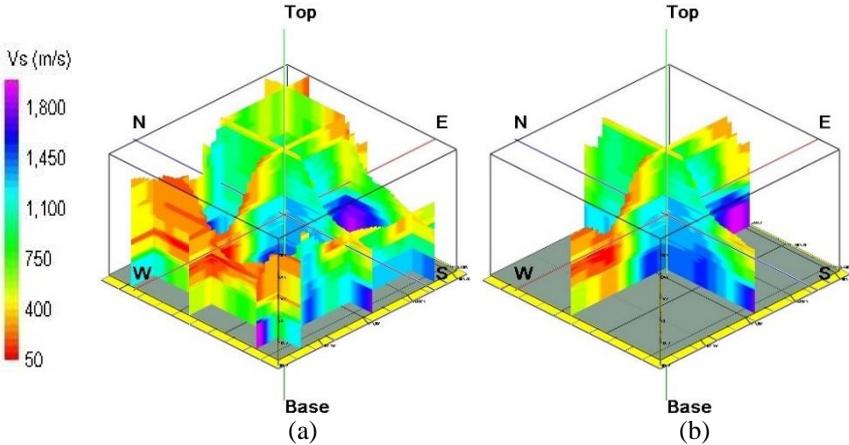
Hasil inversi berupa data nilai kecepatan gelombang geser (Vs) yang diplot terhadap kedalaman di tiap titik menggunakan metode *ellipticity curve* selanjutnya digunakan untuk input data pada proses pemodelan menggunakan program *RockWorks*. Tujuan dibuatnya model secara 3D tersebut supaya mempermudah visualisasi bawah permukaan terutama untuk sebaran ketebalan sedimen dan *engineering bedrock*. Karena jika hanya ditampilkan pada peta 2D masih menimbulkan ambiguitas saat dilakukan analisis bahaya gempa. Dengan mengetahui seberapa tebal lapisan sedimen dan kedalaman *engineering bedrock*, maka dapat dijadikan sebagai data pendukung untuk zonasi bahaya gempa di wilayah penelitian.



Gambar 4.6 Model 3D *solid* bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser (Vs); (a) Model 3D *full* litologi, (b) Model 3D *Engineering Bedrock*

Pada gambar 4.6 ditunjukkan bahwa terdapat lapisan sedimen yang cukup tebal dan *engineering bedrock* yang cukup dalam di Pulau Lombok bagian

barat dan sekitarnya. Hal tersebut sesuai dengan formasi pada peta geologi di wilayah tersebut dimana batuan penyusunnya didominasi oleh batuan sedimen (kerikil, kerakal, pasir, dan lempung). Beda halnya pada Pulau Lombok bagian utara dan timur, dimana terjadi penipisan lapisan sedimen dan adanya persebaran *engineering bedrock* yang relatif dangkal. Ini berkorelasi dengan kondisi geologi yang mana terdapat Gunung Rinjani yang didominasi oleh batuan vulkanik (breksi, lava, dan tuf).



Gambar 4.7 Model 3D *slicing* bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ); (a) Model 3D *grid slicing*, (b) Model 3D *cross-section slicing*

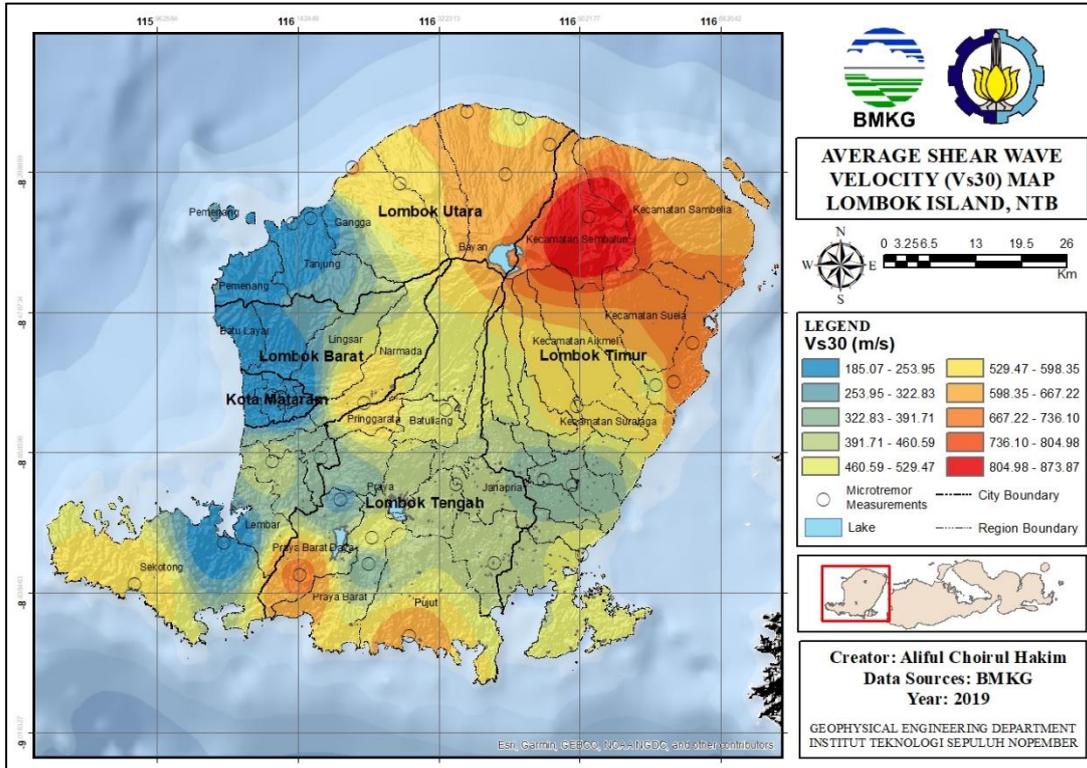
Untuk mengetahui bagaimana persebaran nilai kecepatan gelombang geser tanah secara menyeluruh, maka perlu dibuat sayatan model 3D dari solid model pada gambar 4.6. Dari gambar 4.7 diatas dapat dimati bahwa terdapat persebaran lapisan sedimen yang cukup tebal di wilayah barat Pulau Lombok, dibuktikan dengan adanya nilai  $V_s$  yang relatif rendah dibanding wilayah utara dan timur. Wilayah dengan lapisan sedimen yang cukup tebal akan rentan terhadap deformasi apabila terjadi gempabumi. Sebaliknya, wilayah dengan *engineering bedrock* yang dangkal dan lapisan sedimen yang cukup tipis akan relatif lebih aman. Karena lapisan sedimen dengan ketebalan tertentu menyebabkan adanya proses amplifikasi gelombang gempa. Adapun pada penelitian ini, penentuan batuan dasar (*engineering bedrock*) berdasarkan parameter  $V_s750$ . Parameter ini menggambarkan seberapa dalam lapisan tanah atau batuan yang memiliki nilai  $V_s$  sebesar 750 m/s. Sehingga berdasarkan konsep tersebut dapat diperkirakan seberapa tebal lapisan sedimen diatas batuan dasar. Penentuan ketebalan sedimen juga dapat dikonfirmasi dari peta topografi (DEM), dimana wilayah yang mempunyai elevasi landai dan rendah akan cenderung memiliki nilai  $V_s$  yang kecil karena lapisan sedimen cenderung terdeposit di wilayah tersebut.

Sedangkan di wilayah dengan elevasi tinggi dan curam yang umumnya terdapat di daerah pegunungan, pasti mempunyai nilai kecepatan gelombang geser cukup tinggi karena lapisan sedimen yang tipis serta adanya dominasi batuan vulkanik.

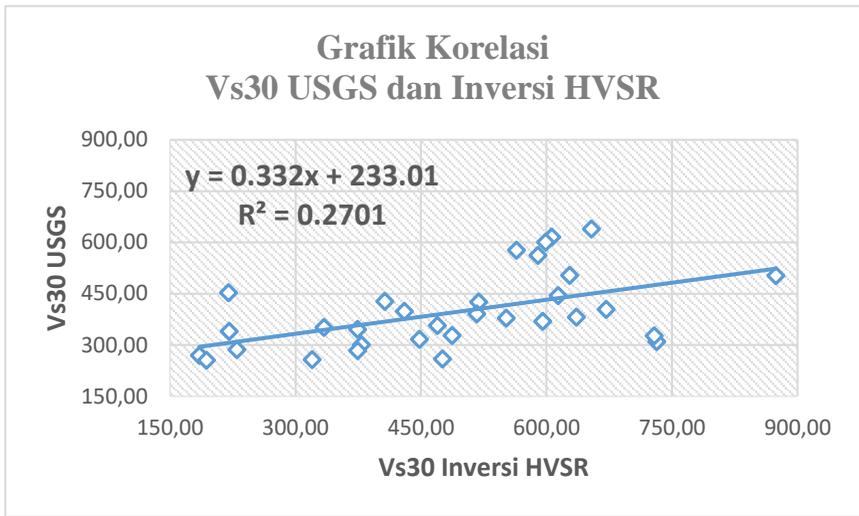
#### **4.2.4 Distribusi dan Pemetaan Nilai Vs30 serta Penentuan Site Classification (Kelas Situs)**

Estimasi kecepatan gelombang geser (Vs) yang didapat dari hasil inversi *ellipticity curve* dapat dijadikan acuan dalam upaya investigasi karakteristik dinamis tanah. Namun, *ground profile* Vs 1D saja masih belum cukup. Untuk mendefinisikan kelas situs / *site classification* dalam keperluan geoteknik dan zonasi bahaya gempabumi, umumnya digunakan parameter kecepatan gelombang geser rata-rata di bawah permukaan sedalam 30 meter atau biasa disebut Vs30. Penggunaan parameter Vs30 ini dikarenakan ketika terjadi gempabumi, hal yang menyebabkan terjadinya kerusakan infrastruktur bangunan tidak hanya kekuatan magnitudo gempa saja, melainkan kondisi lokal seperti karakteristik tanah dan batuan penyusun pada formasi geologi di titik tersebut. Pada penelitian ini, digunakan persamaan 2.9 untuk mendapatkan parameter Vs30 di setiap titik ground profile hasil inversi *ellipticity curve*.

Hasil peta 2D untuk persebaran nilai Vs30 sebagaimana gambar 4.8 menunjukkan nilai yang cukup bervariasi. Terlihat adanya rentang nilai Vs30 dari 185,07 m/s hingga 873,87 m/s. Hal yang mempengaruhi variasi nilai ini yaitu penentuan inisiasi parameter yang berdasarkan formasi geologi beserta batuan penyusunnya. Nilai Vs yang relatif rendah terakumulasi pada sebagian besar wilayah Kabupaten Lombok Barat dan keseluruhan Kota Mataram yakni berkisar antara 185,07 m/s hingga 529,47 m/s. Hal ini berkorelasi dengan data dari peta geologi Pulau Lombok, dimana wilayah tersebut didominasi alluvium (Qa) yang batuan penyusunnya terdiri dari kerakal, kerikil, batupasir, dan batulempung. Wilayah bagian barat daya Kabupaten Lombok Barat juga memiliki nilai Vs cukup kecil disebabkan adanya formasi Kawangan yang terdiri dari perselingan batupasir kuarsa, batulempung, dan breksi. Adapun nilai Vs30 yang relatif tinggi terdapat pada Kabupaten Lombok Utara dan Kabupaten Lombok Timur yaitu sebesar 529,47 m/s hingga 873,87 m/s. Tingginya nilai Vs30 di wilayah tersebut disebabkan dominasi batuan vulkanik dari pegunungan Rinjani yang terdiri dari breksi, lava, dan tuf. Ketiga jenis batuan ini tersebar di beberapa formasi geologi, diantaranya; formasi Lekopiko (Qvl), formasi Kalibabak (TQb), dan Batuan Gunungapi Tak Terpisah (Qhv).



Gambar 4.8 Peta distribusi nilai kecepatan gelombang geser rata-rata sedalam 30 meter ( $V_{s30}$ ) Pulau Lombok



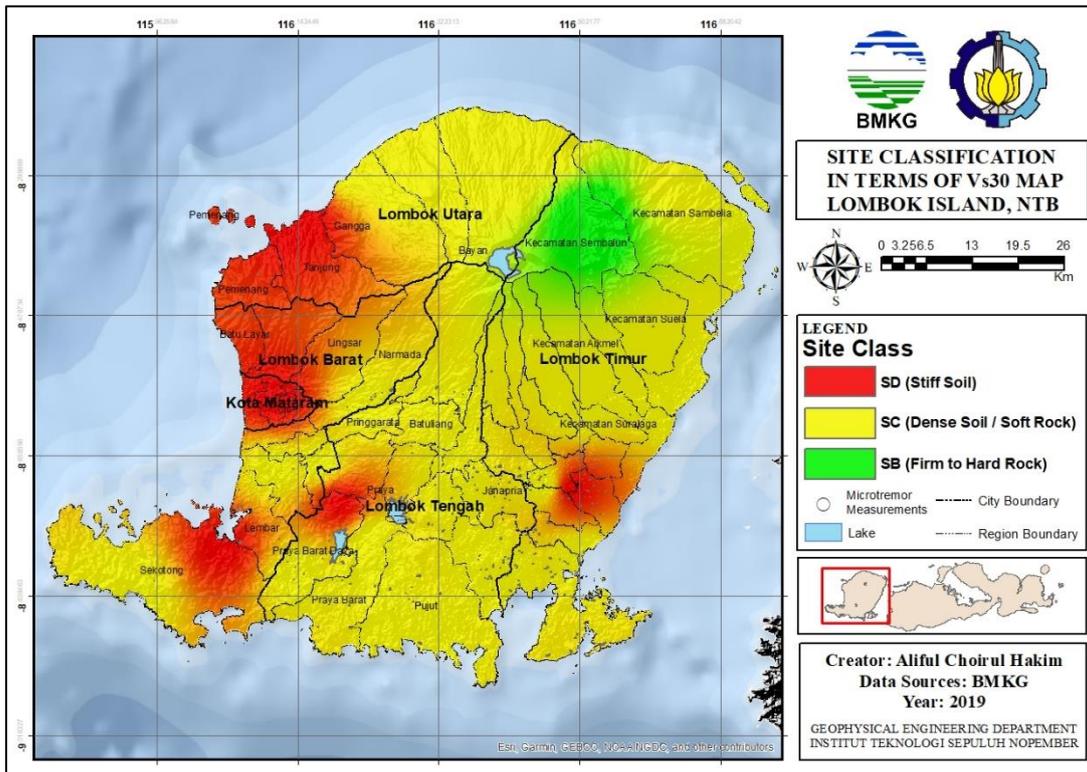
Gambar 4.9 Grafik koefisien determinasi antara nilai Vs30 USGS dengan Inversi HVSr

Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang diperoleh antara parameter Vs30 USGS dan inversi ellipticity curve yaitu sebesar 0,2701. Nilai ini menunjukkan seberapa besar kontribusi (bobot) pengaruh yang diberikan variabel pada sumbu X (Vs30 Inversi HVSr) terhadap variabel sumbu Y (Vs30 USGS) secara simultan / bersama-sama. Sehingga besarnya pengaruh variabel lain atau biasa disebut sebagai nilai error (e) adalah 0,7299. Relatif kecilnya nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang masih jauh dari angka satu dikarenakan kedua variabel baik pada sumbu X (Vs30 hasil inversi) dengan sumbu Y (Vs30 USGS) memiliki pendekatan nilai yang berbeda. Variasi nilai dari Vs30 hasil inversi didapat berdasarkan pengukuran langsung di lapangan dengan mempertimbangkan batuan penyusun dominan di setiap formasi titik pengukuran. Sedangkan nilai Vs30 USGS menggunakan pendekatan elevasi berdasarkan peta topografi dengan konsep bahwa wilayah dengan kondisi yang landai dan elevasi rendah relatif memiliki nilai kecepatan gelombang geser (Vs) yang kecil disebabkan adanya lapisan sedimen yang terdeposit di wilayah tersebut, namun di wilayah transisi dan elevasi tinggi / curam seperti di daerah pegunungan maka akan memiliki nilai Vs yang tinggi.

Setelah diperoleh distribusi persebaran nilai Vs30, maka selanjutnya dapat ditentukan kelas situs (*site classification*) di wilayah penelitian. Penentuan kelas situs ini berdasarkan acuan dari SNI 1726:2012 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Penggunaan SNI ini merupakan pembaharuan dari versi berikutnya, yaitu SNI 1726:2002. Berikut adalah peta kelas situs (*site classification*) di Pulau Lombok

berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata dibawah kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ).

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa di wilayah Pulau Lombok terdapat tiga jenis kelas situs yang berbeda. Ketiga kelas tersebut diklasifikasikan berdasarkan rentang nilai kecepatan gelombang geser rata-rata dibawah permukaan sedalam 30 meter ( $V_{s30}$ ) yakni 185,07 m/s hingga 873,87 m/s. Kemudian besarnya rentang nilai  $V_{s30}$  tersebut disesuaikan dengan standardisasi dari SNI 1726:2012. Kelas batuan (SB) dengan rentang nilai  $V_{s30}$  sebesar 750 m/s – 873,87 m/s terdapat di sebagian kecil Kabupaten Lombok Utara. Sedangkan kelas tanah keras dan batuan lunak (SC) yang mempunyai nilai  $V_{s30}$  berkisar 350 m/s sampai 750 m/s terletak di sebagian besar Kabupaten Lombok Tengah dan Kabupaten Lombok Timur. Kelas SC ini menjadi kelas situs yang dominan di wilayah Pulau Lombok. Adapun kelas tanah lunak (SD) dengan nilai  $V_{s30}$  berkisar 185,07 m/s – 350 m/s tersebar di sebagian besar Kabupaten Lombok Barat dan keseluruhan Kota Mataram.

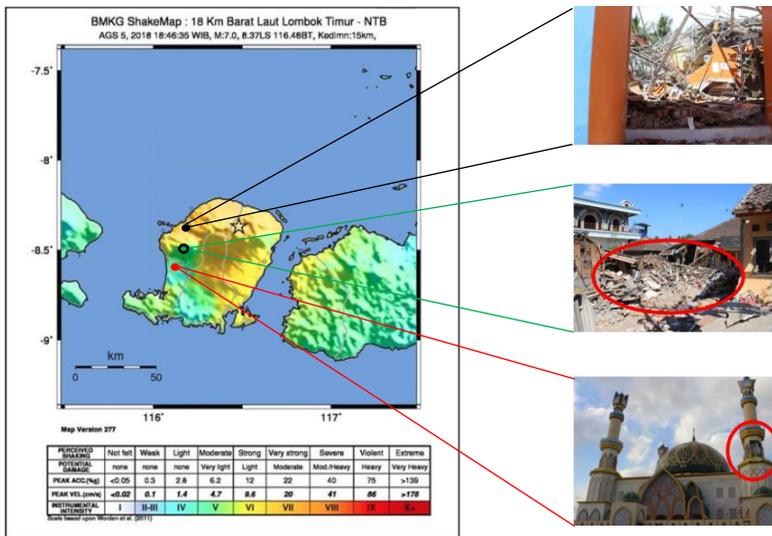


Gambar 4.10 Peta kelas situs (*site classification*) wilayah Pulau Lombok

### 4.3 Pemetaan *Peak Surface Acceleration* (PSA) serta Spektra Percepatan untuk Periode Pendek ( $S_{MS}$ ) dan Panjang ( $S_{M1}$ )

#### 4.3.1 Analisis Distribusi Nilai PSA Pendekatan Deterministik

Kejadian gempa pada tanggal 5 Agustus 2018 dengan kekuatan magnitudo sebesar 7,0 merupakan salah satu *event* gempa yang merusak di Pulau Lombok. Penyebabnya akibat aktivitas sesar naik Flores (Flores Back Arc Thrust) yang terletak di sebelah utara Pulau Lombok. *After shock* (gempa susulan) terus berlangsung dengan intensitas gempa yang relatif lebih kecil dari gempa utama. Tercatat, hingga tanggal 12 Agustus 2018 pukul 07.00 WITA telah terjadi 564 gempa susulan (BMKG, 2018). Gempa ini mengguncang tidak hanya di wilayah Lombok, melainkan juga wilayah Bali dan Sumbawa. Walaupun pusat gempa terletak pada jarak 18 km arah barat laut Lombok Timur, namun dampak kerusakan infrastruktur yang terjadi lebih banyak terdapat pada Kabupaten Lombok Utara, Kabupaten Lombok Barat, dan Kota Mataram. Hal ini membuktikan bahwa tingkat kerusakan bangunan yang ditimbulkan akibat kejadian gempa tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya magnitudo dan lokasi gempa, melainkan juga dipengaruhi oleh kondisi lokal suatu wilayah seperti karakteristik tanah di bawah permukaan dan ketebalan sedimen. Berikut ini merupakan peta guncangan (*shakemap*) kejadian gempa pada tanggal 5 Agustus 2018 (M. 7,0) beserta titik-titik kerusakan bangunan berdasarkan survei yang dilakukan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

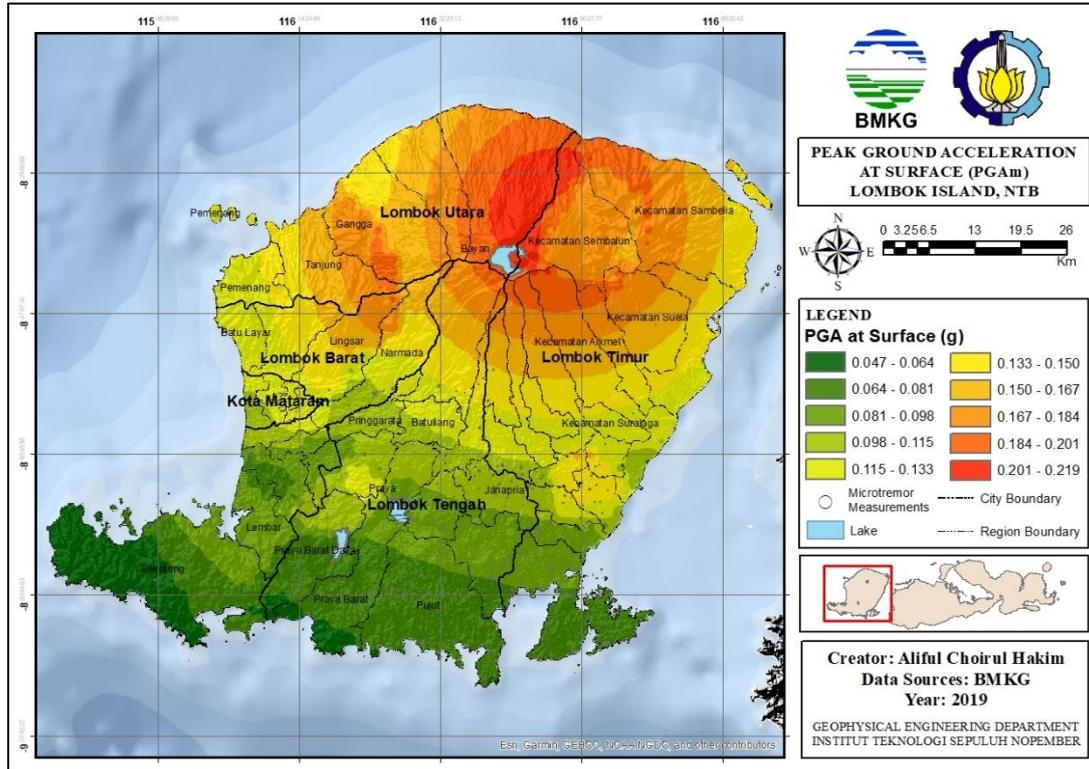


**Gambar 5.0** Peta guncangan tanah (*shakemap*) dan kerusakan bangunan akibat kejadian gempa 5 Agustus 2018 magnitudo 7,0 (BMKG, 2018)

Gambar 5.0 diatas menunjukkan contoh beberapa kerusakan yang terjadi akibat episenter gempa di Lombok Timur. Misalnya pada titik berwarna hitam di Kecamatan Tanjung, Kabupaten Lombok Utara. Disana terdapat kantor BPBD yang mengalami runtuh di bagian atap dengan rangka baja ringan akibat menahan genteng tanah liat. Kemudian di Kecamatan Gunung Sari, Kabupaten Lombok Barat (titik hijau) mengalami bangunan gagal struktur dan rumah ambruk rata dengan tanah. Sedangkan titik warna merah merupakan bangunan masjid di Kota Mataram yang mengalami kerusakan di bagian menara. Semua kerusakan tersebut secara umum memiliki jarak yang relatif jauh dengan episenter sumber gempa.

Penelitian ini membahas lebih lanjut mengenai pengaruh karakteristik dinamis tanah terhadap kejadian gempa. Penggunaan karakteristik lapisan tanah ini didasarkan pada parameter fisis berupa kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dengan inversi mikrotremor *single station* melalui pendekatan *ellipticity curve* gelombang *Rayleigh*. Setelah ditemukan nilai  $V_{s30}$  dan kelas situs seperti pada gambar 4.9, maka dapat diperoleh nilai faktor amplifikasi ( $F_{PGA}$ ) berdasarkan standar dari SNI 1726:2012. Penentuan nilai  $F_{PGA}$  tersebut berdasarkan titik temu antara nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan jenis kelas situs. Faktor amplifikasi ini nantinya digunakan sebagai faktor pengali pada variabel PGA sehingga diperoleh distribusi nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA).

Sebelumnya, untuk bisa mendapatkan variabel percepatan tanah maksimum di batuan dasar (PGA), maka perlu dilakukan dengan pendekatan deterministik. Pendekatan ini menggunakan sumber gempa yang sama dari kejadian 5 Agustus 2018 silam dengan kekuatan magnitudo 7,0 arah barat laut Lombok Timur dengan kedalaman 15 km. Sehingga dengan sumber gempa yang sama nantinya dapat diorelasikan antara peta guncangan tanah (*shakemap*) dengan peta *Peak Surface Acceleration* (PSA) hasil perkalian antara faktor amplifikasi ( $F_{PGA}$ ) dengan nilai PGA tersebut. Adapun fungsi atenuasi / *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) yang digunakan untuk memperoleh persebaran nilai PGA ini adalah persamaan “Lin & Lee (2008)”. Alasan penggunaan fungsi atenuasi tersebut selain pernah digunakan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) tahun 2017, parameter input yang dibutuhkan juga tidak rumit, yaitu; besarnya magnitudo momen gempa ( $M$ ), jarak hiposenter / *focus* terhadap *site* yang ditinjau ( $R$ ), serta kedalaman sumber gempa.



Gambar 4.11 Peta percepatan tanah maksimum di permukaan (PSA) akibat kejadian gempa 5 Agustus 2018 magnitudo 7,0 (BMKG, 2018)

Pada gambar 5.1 terlihat hasil pemetaan Peak Surface Acceleration (PSA) dengan pendekatan deterministik yang mana memiliki variasi nilai bervariasi. Rentang nilai PSA yang dihasilkan berkisar antara 0,047g hingga 0,219g. Geometri persebaran nilai PSA nampak tidak simetris dengan adanya peningkatan nilai di sebagian wilayah Kabupaten Lombok Barat dan Utara serta keseluruhan Kota Mataram. Hal yang menyebabkan fenomena ini adalah perbedaan karakteristik dinamis tanah yang menyebabkan adanya amplifikasi gelombang seismik. Proses amplifikasi umumnya terjadi pada lapisan sedimen yang lunak. Dikarenakan nilai  $V_s30$  yang relatif rendah di wilayah Lombok Barat dan Utara serta terklasifikasikan sebagai kelas situs tanah lunak (SD), maka nilai faktor amplifikasi sesuai SNI 1726:2012 ( $F_{PGA}$ ) yang didapat cenderung tinggi dibanding wilayah lain. Sehingga gelombang seismik dari sumber gempa yang melewati medium di wilayah Lombok Barat dan Timur akan mengalami penguatan, sedangkan di wilayah lain justru mengalami atenuasi akibat fungsi jarak.

Terdapat korelasi antara peta titik kerusakan akibat gempa M 7,0 yang lalu dengan peta persebaran nilai PSA. Menurut survei yang dilakukan oleh sub bidang layanan informasi Seismologi Teknik BMKG, secara umum tingkat kerusakan bangunan yang parah terdapat pada wilayah barat Kabupaten Lombok Utara, serta sebagian Kabupaten Lombok Barat dan Kota Mataram yang memang dekat pesisir pantai. Hal ini juga dikonfirmasi dengan model 3D *solid* (gambar 4.6) dan *slicing* (gambar 4.7), bahwa terdapat lapisan sedimen yang cukup tebal di wilayah Lombok bagian barat dan barat laut sedalam 100 meter. Sehingga kondisi tersebut rentan akan adanya amplifikasi gelombang serta deformasi tanah yang menyebabkan kerusakan bangunan di wilayah tersebut. Hak tersebut membuktikan bahwa kerusakan bangunan yang ditimbulkan akibat gempa tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya magnitudo dan fungsi jarak dari episenter gempa, melainkan adanya faktor kondisi *local site* atau karakteristik bawah permukaan yang memiliki kontribusi lebih besar terhadap kerusakan bangunan dibanding parameter-parameter sumber gempa.

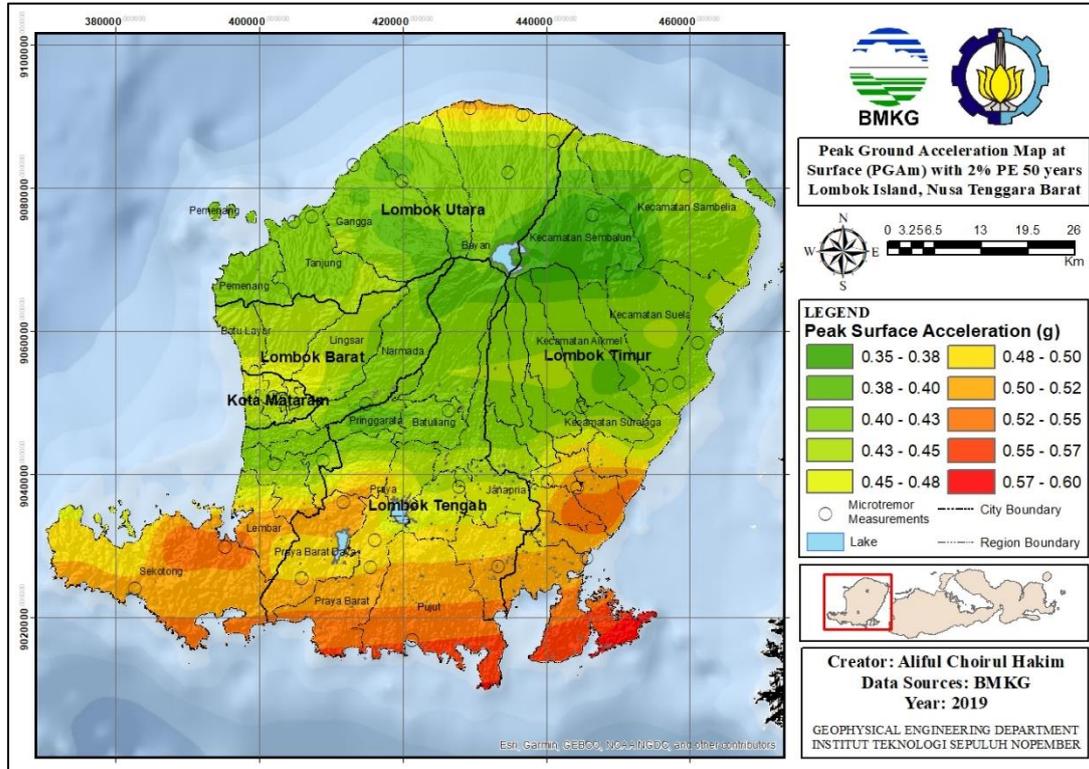
#### **4.3.2 Analisis Distribusi Nilai PSA Pendekatan Probabilistik**

Berbeda halnya dengan pendekatan deterministik berdasarkan *worst case scenario* (kondisi terburuk) melalui pemanfaatan sumber gempa dengan magnitudo maksimum dan jarak terdekat, pendekatan probabilistik memperhitungkan berbagai level dan kemungkinan di masa yang akan datang. Sumber gempa yang digunakan tidak hanya satu jenis saja, melainkan semua sumber gempa yang mungkin akan terjadi di site yang ditinjau. Dalam studi kasus penelitian ini yakni Pulau Lombok, maka digunakan sumber gempa sebanyak tiga jenis berdasarkan pedoman dari “Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017” oleh Pusat Studi Gempa Nasional. Sumber gempa pertama yaitu *shallow crustal* untuk model sumber gempa *fault* dan *shallow*

*background*. Untuk Pulau Lombok sendiri digunakan sumber gempa patahan naik Flores di bagian utara, patahan *strike-slip* di bagian barat dan timur, serta beberapa patahan lokal / minor. Sumber gempa kedua yaitu subduksi interface yang dalam hal ini adalah Sumba Megathrust di selatan Pulau Lombok hasil penunjaman lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia. Sedangkan jenis gempa terakhir yaitu *deep intraslab* / *benioff* (*deep background*) atau sumber gempa yang hiposenternya cukup dalam.

Hasil perhitungan nilai Peak Ground Acceleration (PGA) dengan pendekatan probabilistik berupa peta bahaya gempa dengan periode ulang tertentu. Hal ini bergantung pada umur bangunan dan kemungkinan besarnya percepatan yang terlampaui. Pada penelitian ini, digunakan data sekunder hasil percepatan tanah maksimum di batuan dasar dalam periode 0 detik (PGA), periode pendek 0,2 detik ( $S_s$ ), dan periode panjang 1 detik ( $S_1$ ). Adapun peta gempa rencana yang dipakai adalah peta dengan periode ulang 2500 tahun (2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan). Yang dimaksud disini adalah adanya kemungkinan gempa dengan percepatan yang lebih besar 2% dari yang terdapat di peta selama 50 tahun umur bangunan. Sedangkan periode ulang 2500 tahun bukan berarti bahwa gempa akan terjadi tiap 2500 tahun. Periode ulang digunakan untuk memberikan gambaran kemungkinan tahunan (*annual probability*) terjadinya gempa sebesar 1/2500 dalam satu tahun. Penggunaan peta ini berdasarkan standardisasi oleh SNI 1726:2012 untuk bangunan gedung dalam menahan beban gempa. Adapun jika ingin menganalisis jenis infrastruktur lain yang bersifat non-gedung seperti jembatan, dam, bendungan, dan sebagainya umumnya digunakan peta dengan periode ulang 1000 tahun (7% terlampaui dalam 75 tahun). Perbedaan *probability of exceedance* merupakan faktor langsung terhadap berubahnya periode ulang. Semakin kecil *probability of exceedance* semakin besar periode ulang sehingga semakin kecil kemungkinan terjadi gempa diatas gempa rencana.

Pada gambar 5.2 diatas nampak bahwa terdapat variasi nilai *Peak Surface Acceleration* (PSA) berkisar 0,35g – 0,60g. Nilai ini sebelumnya diperoleh dengan persamaan 3.7 dengan memanfaatkan variabel faktor amplifikasi ( $F_{PGA}$ ) dari tabel 3.4. Faktor amplifikasi ini didapat dengan mempertimbangkan kelas situs di titik pengukuran yang dikorelasikan terhadap nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA). Distribusi nilai PSA relatif lebih besar pada wilayah Pulau Lombok bagian selatan. Hal ini disebabkan hasil pengolahan nilai PGA dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) cenderung dipengaruhi oleh sumber gempa subduksi (*Megathrust*) di bagian selatan dibanding sumber gempa yang lain. Sehingga wilayah ini cukup rawan terhadap guncangan tanah akibat nilai PSA yang tinggi.



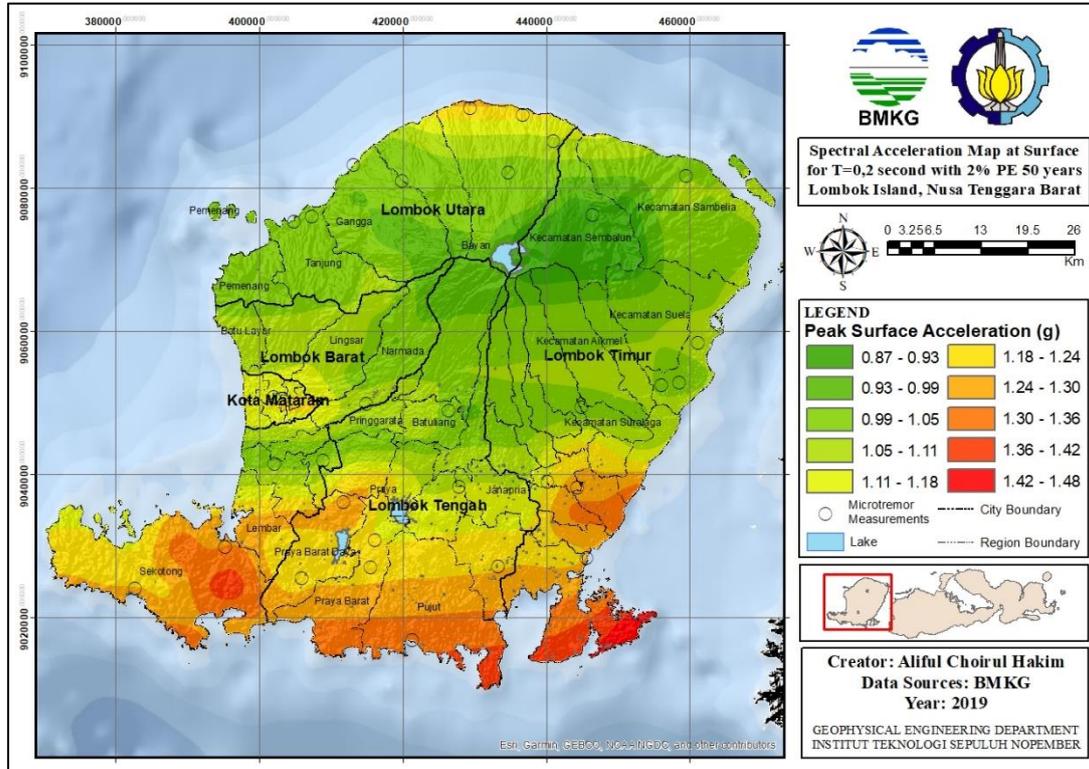
Gambar 4.12 Peta percepatan tanah maksimum di permukaan untuk periode detik (PSA) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan

Sama halnya peta PSA pada gambar 5.2, peta spektra percepatan di permukaan ( $S_{MS}$ ) pada periode 0,2 detik juga memiliki nilai percepatan yang relatif tinggi di selatan Pulau Lombok akibat besarnya kontribusi sumber gempa subduksi dibanding sumber gempa yang lain, bahkan termasuk Flores Back Arc Thrust (sesar naik Flores) yang seharusnya lebih dekat pada Pulau Lombok. Namun yang membedakan disini adalah nilai percepatan pada peta SMS di keseluruhan Pulau Lombok jauh lebih besar dibanding nilai percepatan pada peta PSA, yaitu 0,87g – 1,48g. Hal tersebut dikarenakan pada interval 0,2 detik dan 1,0 detik mengandung energi gempa terbesar (AISC, 2005), sehingga puncak respon spektra kejadian gempa umumnya terjadi pada rentang periode tersebut. Pembuatan peta  $S_{MS}$  pada periode pendek (0,2 detik) ini berguna sebagai acuan dalam analisis pengaruh guncangan tanah akibat gempa terhadap bangunan gedung. Periode 0,2 detik umumnya mewakili periode getar struktur terpendek (bangunan 2 tingkat) yang direncanakan menurut ketentuan ASCE (*American Society of Civil Engineers*) yang telah mempertimbangkan efek dari tanah, goyangan pada pondasi dan faktor lain yang biasanya diabaikan dalam analisis struktur (Taranath, 2010). Oleh karena itu, bangunan infrastruktur berupa gedung dua tingkat akan mengalami simpangan akibat guncangan tanah terutama untuk wilayah bagian selatan Pulau Lombok.

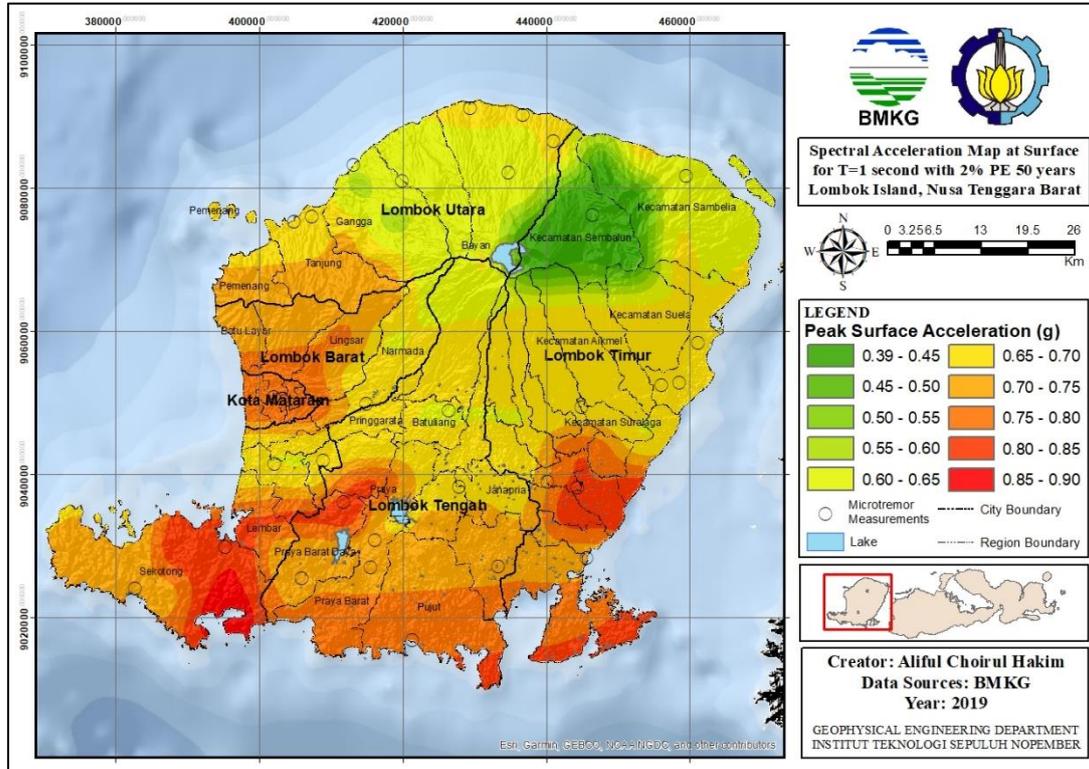
Untuk peta spektra percepatan di permukaan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) sendiri memiliki distribusi nilai percepatan yang berbeda dibanding peta PSA dan peta  $S_{MS}$ . Nampak bahwa wilayah yang memiliki nilai percepatan relatif tinggi tidak hanya di bagian selatan, tetapi juga tersebar di wilayah Kabupaten Lombok Barat dan Kota Mataram. Ada dua faktor yang menyebabkan hal ini. Pertama, nilai faktor amplifikasi pada periode panjang 1,0 detik ( $F_V$ ) sesuai SNI 1726:2012 (tabel 3.6) memiliki nilai yang relatif lebih tinggi dibanding faktor amplifikasi pada periode 0 detik ( $F_{PGA}$ ) dan periode pendek 0,2 detik ( $F_A$ ). Tingginya nilai tersebut disebabkan karena periode getaran alami situs cenderung memiliki karakteristik periode panjang. Sementara, ketika gelombang seismik gempa merambat pada medium dengan ketebalan tertentu, frekuensi gelombang yang tinggi (periode pendek) akan terfiltrasi atau tereduksi. Sehingga yang tersisa adalah gelombang seismik dengan periode panjang dimana dalam hal ini mendekati karakteristik dari periode getaran alami situs. Kesamaan karakter tersebut yang menyebabkan adanya amplifikasi yang lebih besar dibanding periode yang lain.

Hasil persebaran nilai percepatan pada peta  $S_{M1}$  diatas memiliki rentang 0,39g hingga 0,90g. Nilai tersebut lebih kecil dari peta  $S_{MS}$  dan lebih besar daripada peta PSA. Ini menandakan bahwa respon spektra gempa mengalami atenuasi pada periode ini setelah mengalami puncak nilai di periode 0,2 detik. Adapun distribusi nilai percepatan yang tinggi di Lombok bagian barat menandakan bahwa penentuan nilai percepatan di permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya magnitudo dan letak sumber gempa, melainkan juga

dipengaruhi oleh kondisi lokal bawah permukaan (karakteristik tanah) di wilayah tersebut. Mengingat Kota Mataram dan sebagian besar Kabupaten Lombok Barat terklasifikasi sebagai kelas tanah lunak (SD), maka gelombang seismik yang menjalar di medium tersebut akan mengalami amplifikasi. Dampaknya ialah adanya potensi guncangan yang cukup kuat terutama pada bangunan gedung bertingkat, khususnya untuk struktur bangunan sepuluh lantai.



Gambar 4.13 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 0,2 detik ( $S_{MS}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan



Gambar 4.14 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan

#### 4.4 Zonasi Bahaya Gempabumi

Penentuan zonasi wilayah yang berpotensi akibat bahaya gempabumi ditinjau dari dua sudut pandang. Pertama dilihat dari sisi karakteristik dinamis tanah di wilayah penelitian. Dalam hal ini, acuan parameter fisis yang digunakan terdapat tiga jenis, yaitu; Periode Dominan ( $T_{dom}$ ),  $V_{s30}$ , dan *site classification* (kelas situs). Pada peta sebaran nilai  $T_{dom}$ , wilayah yang mempunyai karakteristik soft soil / tanah lunak (kelas SC IV) berdasarkan tabel dari Zhao (2006) adalah sebagian besar Kabupaten Lombok Barat, keseluruhan Kota Mataram, dan bagian barat daya Kabupaten Lombok Utara. Hal ini dibuktikan dengan adanya distribusi nilai  $T_{dom}$  yang tinggi yaitu 0,60 detik hingga 2,16 detik. Sedangkan menurut parameter  $V_{s30}$ , nilai yang relatif rendah juga tersebar di wilayah yang sama dengan rentang nilai berkisar antara 185,18 m/s – 460.54 m/s. Ini menandakan bahwa di wilayah tersebut didominasi oleh lapisan sedimen. Adapun tebalnya lapisan sedimen yang cukup dalam nampak pada wilayah Kota Mataram, Kecamatan Tanjung (Kabupaten Lombok Utara), dan Kecamatan Sekotong (Kabupaten Lombok Barat). Dibuktikan pada model 3D kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) baik *solid* maupun *slicing* dengan ketebalan hingga 100 meter dibawah *mean sea level*. Ditambah lagi, wilayah-wilayah tersebut terkonfirmasi memiliki kelas situs tanah lunak (SD) berdasarkan standardisasi dari SNI 1726:2012. Sehingga kondisi ini yang menyebabkan potensi kerusakan bangunan / infrastruktur gedung akibat deformasi tanah oleh energi gempa.

Sudut pandang kedua ditinjau dari potensi adanya guncangan tanah yang kuat saat terjadi gempabumi akibat nilai puncak percepatan tanah di permukaan yang tinggi. Peta akselerasi yang digunakan dilihat dari tiga sisi, yaitu percepatan maksimum di permukaan pada periode 0 detik ( $PSA$ ), periode pendek 0,2 detik ( $S_{MS}$ ), dan periode panjang 1 detik ( $S_{M1}$ ). Dimana setiap periode percepatan mewakili periode getar struktur untuk masing-masing tingkatan. Misal, pada periode 0 detik, maka akan cukup berpengaruh pada getaran pondasi bangunan. Kemudian periode 0,2 detik cukup mewakili periode getar struktur terpendek (bangunan 2 tingkat). Sedangkan periode panjang 1,0 detik akan berpengaruh pada guncangan di gedung bertingkat hingga 10 lantai. Sehingga jika bangunan gedung tersebut berdiri pada wilayah dengan nilai percepatan tanah di permukaan yang cukup tinggi serta memiliki periode alami struktur yang sama dengan periode gempa, maka dapat dipastikan terjadi amplifikasi dan resonansi yang menyebabkan gedung tersebut kemungkinan mengalami simpangan dan terancam runtuh. Secara umum, peta percepatan untuk masing-masing periode memiliki nilai relatif lebih tinggi pada bagian selatan Pulau Lombok. Namun untuk peta ( $S_{M1}$ ), nilai yang tinggi tidak hanya di bagian selatan saja, melainkan juga terdapat di sebagian besar Kota Mataram dan Kabupaten Lombok Barat. Dengan adanya konsep seperti ini, maka pembangunan infrastruktur gedung dapat disesuaikan dengan persebaran peta percepatan tanah maksimum di permukaan untuk setiap periode.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Wilayah Kota Mataram, Kabupaten Lombok Barat, dan Kecamatan Tanjung (Kabupaten Lombok Utara) didominasi oleh jenis tanah yang lunak dan mempunyai ketebalan lapisan sedimen cukup dalam. Dibuktikan dengan adanya nilai Periode Dominan ( $T_{dom}$ ) yang tinggi (0,60 detik - 2,16 detik) dan  $V_{s30}$  relatif rendah (185,18 m/s – 460.54 m/s) serta masuk pada kategori kelas situs SD (*stiff soil* / tanah lunak). Adapun ketebalan sedimen paling dalam mencapai hingga 100 meter menurut  $V_s$  3D *modeling*. Sehingga berpotensi terjadi kerusakan yang lebih parah akibat deformasi tanah.
- Wilayah Pulau Lombok bagian selatan mempunyai persebaran nilai percepatan di permukaan relatif tinggi untuk masing-masing periode. Untuk periode 0 detik (PSA) berkisar 0,48g-0,60g. Sedangkan nilai  $S_{MS}$  (periode 0,2 detik) dan  $S_{M1}$  (periode 1,0 detik) masing-masing 1,18g-1,48g dan 0,65g-0,90g. Nilai  $S_{M1}$  tinggi juga terdapat di Kabupaten Lombok Barat dan Kota Mataram (0,65-0,80). Sehingga wilayah-wilayah ini berpotensi mengalami guncangan tanah yang kuat saat terjadi gempa bumi.
- Zonasi bahaya gempabumi di Pulau Lombok ditinjau dari dua sisi; (1) zona potensi terjadinya kerusakan yang cukup parah berdasarkan parameter dinamis tanah (Kota Mataram, Kabupaten Lombok Barat, dan Kecamatan Tanjung pada Kabupaten Lombok Utara). (2) Zona potensi terjadinya guncangan tanah yang cukup kuat berdasarkan nilai PSA dan  $S_{MS}$  (Lombok bagian selatan) serta  $S_{M1}$  (Kabupaten Lombok Barat dan Kota Mataram).

### 5.2 Saran

Bedasarkan hasil analisis data, penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya untuk dilakukan perhitungan dan pemetaan nilai percepatan tanah maksimum untuk periode ulang 1000 tahun dalam rangka keperluan pembangunan infrastruktur tertentu seperti jembatan, dam / bendungan, dan sebagainya. Penelitian ini pun juga dapat dijadikan acuan dalam pembuatan desain respon spektra pada pembangunan infrastruktur gedung tahan gempa.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamson, N.A. dan Silva, W.J. (1997), "Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes", *Seismological Research Letters*, Vol.68, No.1, hal. 94–127. <http://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.94>.
- Arai, H. (2005), "S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectrum", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.95, No.5, hal. 1766–1778. <http://doi.org/10.1785/0120040243>.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S. dan Setianegara, R. (2014), "PENENTUAN ZONA RAWAN GUNCANGAN BENCANA GEMPA BUMI BERDASARKAN ANALISIS NILAI AMPLIFIKASI HVSR MIKROTREMOR DAN ANALISIS PERIODE DOMINAN DAERAH LIWA DAN SEKITARNYA", *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol.2, hal. 11.
- Arifudin, A. (2018), *KARAKTERISTIK SITUS DAN KERENTANAN SEISMIK DI KABUPATEN KLATEN DENGAN METODE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR) DARI DATA MIKROTREMOR*, Yogyakarta: Konsentrasi Manajemen Rekayasa Kegempaan Universitas Islam Indonesia.
- Boore, D. dan Toksoz, N. (1969), "Rayleigh Wave Particle Motion and Crustal Structure", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.59, hal. 331–346.
- Christensen, N.I. dan Mooney, W.D. (1995), "Seismic Velocity Structure and Composition of the Continental Crust: A Global View", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.100, No.B6, hal. 9761–9788. <http://doi.org/10.1029/95JB00259>.
- Darman, H. dan Sidi, H. (2000), *An Outline of the Geology of Indonesia*, Indonesian Association of Geologists.
- Daryono dan Prayitno, B.S. (2009), "Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi", *Yogyakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*.
- Duffy, B., Quigley, M. dan Ring, U. (2013), *Arc-parallel extrusion of the Timor sector of the Banda arc-continent collision*, hal. 642.
- Godfrey, N.J., Beaudoin, B.C. dan Klempner, S.L. (1997), "Ophiolitic Basement to the Great Valley Forearc Basin, California, from Seismic and Gravity Data: Implications for Crustal Growth at the North American Continental Margin", *Geological Society of America Bulletin*, Vol.109, No.12, hal. 1536–1562. [http://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<1536:OBTTGV>2.3.CO;2](http://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<1536:OBTTGV>2.3.CO;2).

- Gok, R. (2008), *Eartquake Focal Mechanisms and Waveform Modeling* Lawrence Livermore National Laboratory USA,.
- Hobiger, M., Cornou, C., Wathelet, M., Giulio, G.D., Knapmeyer-Endrun, B., Renalier, F., Bard, P.-Y., Savvaidis, A., Hailemikael, S., Le, B.N., Ohrnberger, M. dan Theodoulidis, N. (2013), "Ground Structure Imaging by Inversions of Rayleigh Wave Ellipticity: Sensitivity Analysis and Application to European Strong-Motion Sites", *Geophysical Journal International*, Vol.192, No.1, hal. 207–229. <http://doi.org/10.1093/gji/ggs005>.
- Kanlı, A.I., Tildy, P., Prónay, Z., Pınar, A. dan Hermann, L. (2006), "Vs30 Mapping and Soil Classification for Seismic Site Effect Evaluation in Dinar Region, SW Turkey", *Geophysical Journal International*, Vol.165, No.1, hal. 223–235. <http://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02882.x>.
- M. Irsyam (2012), "Hasil Studi Tim Revisi Gempa Indonesia 2010", Bandung, Massinai, M.A. (2015), *Geomorfologi Tektonik*, Pustaka Ilmu.
- Mirzaoglu, M. dan Dýkmen, Ü. (2003), "Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure", *JOURNAL OF THE BALKAN GEOPHYSICAL SOCIETY*, Vol.6, hal. 143–156.
- Mufida, A., Santosa, B.J. dan Warnana, D.D. (2013), "Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor", *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS*, Vol.2, hal. 6.
- Nakamura, Y. (2008), "ON THE H/V SPECTRUM", *World Conference on Earthquake Engineering*,.
- Nakamura, Y. (1989), "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface", *Quarterly Report of Railway Technical Research Inst. (RTRI)*, Vol.30, hal. 25–33.
- Nakamura, Y. (2000), "CLEAR IDENTIFICATION OF FUNDAMENTAL IDEA OF NAKAMURA'S TECHNIQUE AND ITS APPLICATIONS", *Japan: System and Data Research Co. Ltd.*, hal. 8.
- Ngadmanto, D., Susilanto, P., Nurdianto, B. dan Pakpahan, S. (2013), "EFEK TAPAK LOKAL PADA DAERAH KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI BOGOR 9 SEPTEMBER 2012", *Jakarta: PUSLITBANG BMKG*, Vol.14, No.3, hal. 8.
- Nugraha, J., Sunardi, B., Climatological, M. dan Climatological, M. (2014), *SEISMIC HAZARD ANALYSIS AND ISOSEISMAL FOR JAVA-BALI-NTB*, No.March 2016.
- Ozaki, M., Kitagawa, Y. dan Hattori, S. (1978), "Study on Regional Distribution of Maximum Earthquake Motions in Japan", *Proceedings of the Ninth Joint UJNR Panel Conference "Wind and Seismic Effects,"* hal. V14–V44.

- Pawirodikromo, W. (2012), *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar.
- Poggi, V., Fäh, D., Burjanek, J. dan Giardini, D. (2012), "The Use of Rayleigh-Wave Ellipticity for Site-Specific Hazard Assessment and Microzonation: Application to the City of Lucerne, Switzerland: Rayleigh Wave for Micronization", *Geophysical Journal International*, Vol.188, No.3, hal. 1154–1172. <http://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05305.x>.
- Pratiwi, S. (2017), "Penentuan Tingkat Kerawanan Gempa Bumi Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (ReMi) di Kota Surakarta", *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, Vol.7, No.1, hal. 58. <http://doi.org/10.13057/ijap.v7i1.4884>.
- Prawirodikromo, W. (2012), *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- PUSGEN (2017), *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia*, Kementerian PUPR.
- Rošer, J. dan Gosar, A. (2010), "Determination of VS30 for Seismic Ground Classification in the Ljubljana Area, Slovenia", *Slovenia: Acta geotechnica Slovenica*, hal. 17.
- S. Agustawijaya, D., Sulistiyono, H. dan Elhuda, I. (2018), "Determination of the Seismicity and Peak Ground Acceleration for Lombok Island: An Evaluation on Tectonic Setting" eds.Hajek, P., Han, A. L., Kristiawan, S., Chan, W. T., Ismail, M. b., Gan, B. S., Sriravindrarajah, R., dan Hidayat, B. A., *MATEC Web of Conferences*, Vol.195, hal. 03018. <http://doi.org/10.1051/mateconf/201819503018>.
- Sambridge, M. (1999), "Geophysical Inversion with a Neighbourhood Algorithm-I. Searching a Parameter Space", *Geophysical Journal International*, Vol.138, No.2, hal. 479–494. <http://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1999.00876.x>.
- SNI 1726 (2012), *SNI 1726: 2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*, Badan Standardisasi Nasional.
- Sunardi, B., Naimah, S., Haryoko, U. dan Rohadi, S. (2018), "Vs30 Mapping and Soil Classification in The Southern Part of Kulon Progo Using Rayleigh Wave Ellipticity Inversion", *JGISE Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, hal. 7.
- Sunardi, B. dan Nugraha, J. (2016), "PEAK GROUND ACCELERATION AT SURFACE AND SPECTRAL ACCELERATION FOR MAKASSAR CITY BASED ON A PROBABILISTIC APPROACH", *Jakarta: Research and Development Center of BMKG*,.

- Ullah, I. (2017), "Near-Surface Characterization from the H/V Spectral Curves along with the Joint Inversion of the Ellipticity and Dispersion Curves.", *SÃO PAULO*, hal. 195.
- Wafid, M., Sugiyanto dan Pramudyo, T. (2014), *RESUME HASIL KEGIATAN PEMETAAN GEOLOGI TEKNIK PULAU LOMBOK SEKALA 1:250.000* Badan Geologi Kementerian ESDM,.
- Windu, P., Irsyam, M., Wardani, S.P.R. dan Maarif, S. (2015), "Persepsi Pengembangan Peta Rawan Gempa Kota Semarang Melalui Penelitian Hazard Gempa Deterministik", *Universitas Diponegoro*, Vol.36, hal. 24–31.
- Zhao (2006), "Experimental study on earthquake bearing model of rock fracture based on sound emission detection", *Shenyang: Northeastern University*,.

## LAMPIRAN

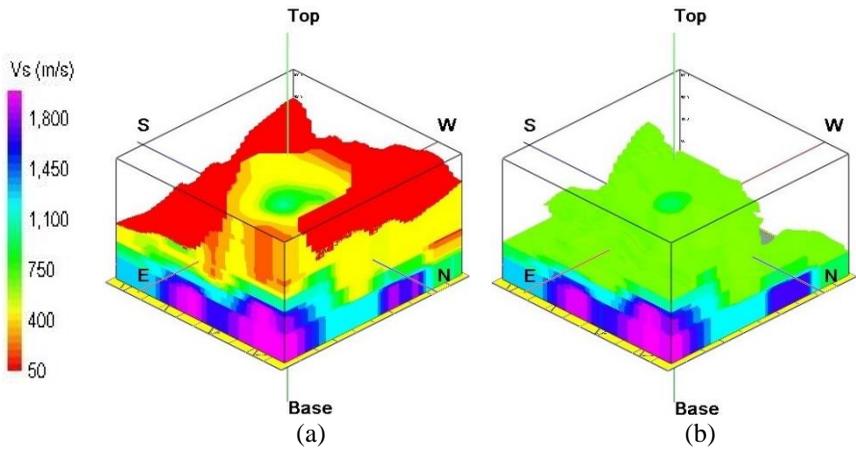
Tabel 5 1 Data kecepatan gelombang geser (Vs) 1D terhadap kedalaman hasil inversi kurva eliptisitas gelombang Rayleigh

Lokasi	UTM		Depth	Vs	Elevation
	Easting	Northing	(m)	(m/s)	(m/s)
Pandua Daya	419894.79	9081005.82	-12	384	346
	419894.79	9081005.82	-31	850	346
	419894.79	9081005.82	-100	1375	346
Akar-Akar	429385.15	9091207.88	-5	368	20
	429385.15	9091207.88	-96	725	20
	429385.15	9091207.88	-100	1300	20
Sambik Elen	440998.47	9086539.72	-5	301	176
	440998.47	9086539.72	-31	750	176
	440998.47	9086539.72	-100	1500	176
Senaru	434707.5	9082240.02	-6	350	541
	434707.5	9082240.02	-31	800	541
	434707.5	9082240.02	-100	1650	541
Mandalika Kuta	421314.18	9016814.09	-17	503	6
	421314.18	9016814.09	-71	850	6
	421314.18	9016814.09	-100	1775	6
Pare Semoyang	433257.99	9027192.91	-6	203	97
	433257.99	9027192.91	-31	625	97
	433257.99	9027192.91	-100	1300	97
Lungkak Ketapang	445592.72	9028394.04	-7	225	5
	445592.72	9028394.04	-35	650	5
	445592.72	9028394.04	-100	1300	5
Poh Gading	458524.92	9052901.15	-22	678	34
	458524.92	9052901.15	-30	900	34
	458524.92	9052901.15	-76	1325	34
	458524.92	9052901.15	-100	2000	34
Yonif	461097.59	9058466.25	-3	242	22

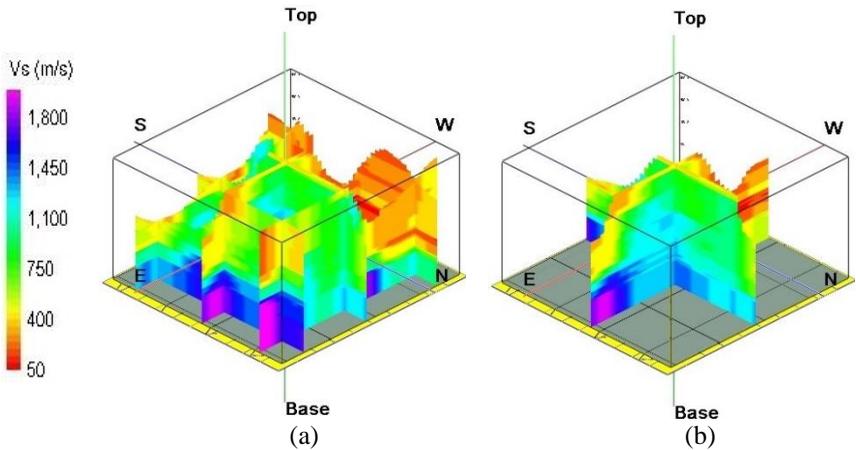
	461097.59	9058466.25	-30	900	22
	461097.59	9058466.25	-100	1600	22
Dasan Taapen	455983.83	9052440.33	-8	224	77
	455983.83	9052440.33	-45	900	77
	455983.83	9052440.33	-79	1400	77
	455983.83	9052440.33	-100	2025	77
Batu Jangkih	405911.34	9025493.15	-7	375	216
	405911.34	9025493.15	-31	875	216
	405911.34	9025493.15	-100	1675	216
Bayan	436761.84	9090255.22	-24	454	31
	436761.84	9090255.22	-100	1275	31
Belanting	459472.73	9081734.92	-4	246	116
	459472.73	9081734.92	-30	800	116
	459472.73	9081734.92	-83	1375	116
	459472.73	9081734.92	-100	2000	116
Bonder	416095.74	9030789.18	-4	218	87
	416095.74	9030789.18	-30	600	87
	416095.74	9030789.18	-100	1350	87
Gangga	413235.56	9083267.38	-6	329	17
	413235.56	9083267.38	-30	700	17
	413235.56	9083267.38	-97	1450	17
	413235.56	9083267.38	-100	2000	17
Gapuk	402129.74	9041516.84	-2	113	20
	402129.74	9041516.84	-10	310	20
	402129.74	9041516.84	-52	630	20
	402129.74	9041516.84	-100	1025	20
Hotel Mataram	403272.77	9050652.43	-6	89	27
	403272.77	9050652.43	-100	250	27
Karang Ruma	408908.36	9042006.49	-2	117	34
	408908.36	9042006.49	-10	300	34
	408908.36	9042006.49	-34	600	34

	408908.36	9042006.49	-94	900	34
	408908.36	9042006.49	-100	1900	34
Medana	404857.69	9075304.69	-3	107	6
	404857.69	9075304.69	-30	250	6
	404857.69	9075304.69	-75	375	6
	404857.69	9075304.69	-100	875	6
Pandan Duri	440161.97	9038976.02	-2	117	228
	440161.97	9038976.02	-10	300	228
	440161.97	9038976.02	-34	600	228
	440161.97	9038976.02	-94	900	228
	440161.97	9038976.02	-100	1900	228
Pandora Hotel	402025.38	9050885.06	-5	93	24
	402025.38	9050885.06	-100	250	24
Pelangan	382734.88	9024102.25	-4	265	14
	382734.88	9024102.25	-32	650	14
	382734.88	9024102.25	-88	1300	14
	382734.88	9024102.25	-100	2000	14
Praya Barat Daya	411703.34	9036118.19	-2	95	79
	411703.34	9036118.19	-10	350	79
	411703.34	9036118.19	-74	400	79
	411703.34	9036118.19	-97	1000	79
	411703.34	9036118.19	-100	1200	79
Sanggok	426385.42	9048914.57	-13	312	373
	426385.42	9048914.57	-44	720	373
	426385.42	9048914.57	-100	1350	373
Sekoteng Tengah	395277.89	9029934.52	-10	177	9
	395277.89	9029934.52	-60	250	9
	395277.89	9029934.52	-100	290	9
Sembalun	446492.25	9076327.95	-15	624	1117
	446492.25	9076327.95	-100	1700	1117
Praya Barat	415580.9	9027063.17	-2	111	84

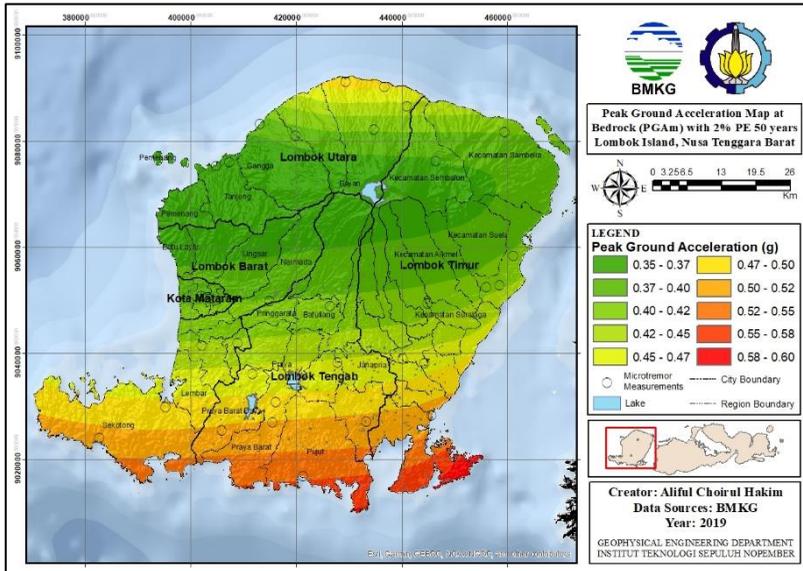
	415580.9	9027063.17	-10	300	84
	415580.9	9027063.17	-47	580	84
	415580.9	9027063.17	-100	875	84
Tanjung	407350.15	9076037.61	-4	131	14
	407350.15	9076037.61	-30	250	14
	407350.15	9076037.61	-68	410	14
	407350.15	9076037.61	-100	875	14
Desa Golong	414927.94	9049854.92	-6	239	167
	414927.94	9049854.92	-30	950	167
	414927.94	9049854.92	-100	1750	167
Desa Anjani	444856.67	9049397.3	-7	297	277
	444856.67	9049397.3	-31	750	277
	444856.67	9049397.3	-100	1375	277
Desa Beraim	427875.07	9038334.67	-5	232	261
	427875.07	9038334.67	-31	850	261
	427875.07	9038334.67	-100	1575	261
Desa Sakra Selatan	444280.66	9038205.05	-4	232	167
	444280.66	9038205.05	-32	600	167
	444280.66	9038205.05	-100	1375	167



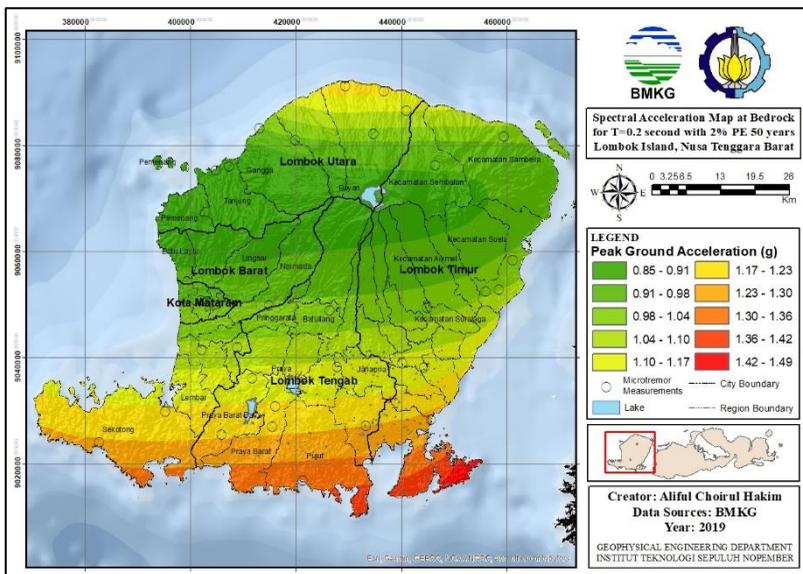
Gambar 5.1 Model 3D bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ); (a) Model 3D *full* litologi, (b) Model 3D *Engineering Bedrock*



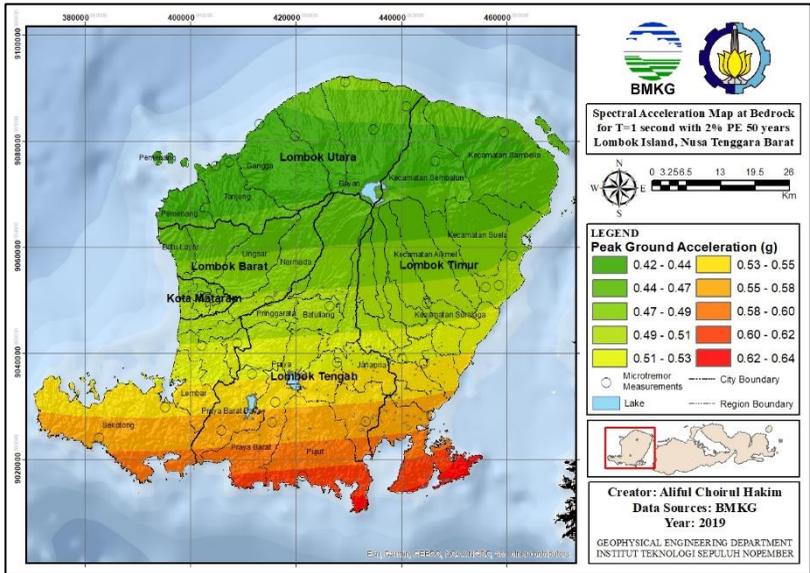
Gambar 5.2 Model 3D *slicing* bawah permukaan berdasarkan kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ); (a) Model 3D *grid slicing*, (b) Model 3D *cross-section slicing*



Gambar 5.3 Peta percepatan tanah maksimum di permukaan (PSA) akibat kejadian gempa 5 Agustus 2018 magnitudo 7,0 (BMKG, 2018)



Gambar 5.4 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 0,2 detik ( $S_{MS}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan



Gambar 5.5 Peta spektra percepatan di permukaan untuk periode 1 detik ( $S_{MI}$ ) 2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BIOGRAFI PENULIS



Aliful Choirul Hakim lahir di kota Surabaya, pada tanggal 30 November 1996. Pendidikan formal penulis dimulai di SD Negeri Sidoklumpuk (2003), SMP Negeri 3 Sidoarjo pada tahun (2009) dan SMA Negeri 2 Sidoarjo (2012). Pada tahun 2015, penulis menjadi mahasiswa Teknik Geofisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS, penulis aktif di beberapa organisasi. Diantaranya yaitu menjadi ketua Divisi Pelaksana Mentoring 2016/2017 dan ketua Departemen Media dan Jaringan (2017/2018) di KMTG Al Ardh. Selain itu, penulis juga aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS sebagai staff departemen PSDM di periode yang sama. Adapun untuk organisasi di luar departemen teknik geofisika, penulis menjadi fungsionaris sebagai staff Badan Pelaksana Mentoring di Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI) ITS 2016/2017 serta menjadi staff ahli di divisi internal *Society of Exploration Geophysicist (SEG) ITS Student Chapter* 2018/2019. Untuk kegiatan keilmiah, penulis meraih juara 1 pada kompetisi “National Sci-Tech Paper Competition 2016” oleh Universitas Riau serta PKM-GT didanai oleh Kementerian RISTEKDIKTI pada tahun 2017. Publikasi ilmiah tingkat nasional dilakukan oleh penulis di ajang *Indonesian Petroleum Association (IPA)* ke- 41 tahun 2017 di Jakarta. Di kegiatan sosial, penulis menjadi tim pengajar pada acara Kelas Inspirasi Kebumihan (KIK) 2017 di Kabupaten Jombang. Pengalaman lain yang dimiliki oleh penulis yaitu mengikuti beberapa pelatihan seperti acara “Semester Break” oleh HMGI Wilayah IV terkait *magnetotelluric data processing* serta *basic seismic interpretation*. Penulis melaksanakan kerja praktik (KP) di PT Pertamina EP Asset 4 Surabaya pada tahun 2018 mengenai interpretasi seismik 3D *post stack time migration* untuk jebakan hidrokarbon. Terakhir, pengerjaan tugas akhir ini dilaksanakan di Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Jakarta Pusat Sub Bidang Layanan Informasi Seismologi Teknik. Penulis sangat berkesan dalam mendapatkan saran, kritik, maupun ajakan diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dan pembaca dapat berkomunikasi melalui email: **alifulchoirul@gmail.com**