

**PERBANDINGAN NILAI PERCEPATAN TANAH
MAKSIMUM BERDASARKAN MODIFIKASI KONSTANTA
ATENUASI DAN DATA ACCELEROGRAPH TAHUN 2008-2016
PADA STASIUN BMKG LAMPUNG**

Skripsi

Oleh
PIPIT MELINDA MEITAWATI



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2017**

ABSTRACT

RATIO OF PEAK GROUND ACCELERATION BY MODIFICATION OF CONSTANTS ATTENUATION AND DATA ACCELEROGRAPH YEAR 2008-2016 ON BMKG LAMPUNG STATION

By

PIPIT MELINDA MEITAWATI

Peak ground acceleration is one of the parameters used in estimating the extent of breakdown caused by earthquake shocks. Lampung is very susceptible to earthquake hazard, because it is tectonic system contiguous strike to the Indo-Australian Plate and Eurasia Plate. In the present study, the determination of an attenuation empirical formula PGA (Peak Ground Acceleration) based on the attenuation equation Lin and Wu (2010). Data used in the study of seismic event data by period year 2008-2012. Through the calculation of regression analysis, then obtained the function attenuation of peak ground acceleration in Lampung region at each station accelerograph:

LWLI (Liwa)	: $\log_{10}(PGA) = -2,351 x \log_{10}(R) + 0,574 x (M) + 2,430$
KASI (Kota Agung)	: $\log_{10}(PGA) = -2,522 x \log_{10}(R) + 0,654 x (M) + 2,182$
BLSI (Bandar Lampung)	: $\log_{10}(PGA) = -3,243 x \log_{10}(R) + 0,651 x (M) + 4,092$
KLI (Kotabumi)	: $\log_{10}(PGA) = -2,746 x \log_{10}(R) + 0,751 x (M) + 2,053$

Result of correlation test verification, chart relation between distance and magnitude earthquakes, ratio PGA contour maps, as well as a ratio between the value of PGA models with the observation of accelerograph year 2013-2016 show that the acceleration attenuation function of the obtained soil is relatively good. Based on PGA attenuation contour map model at an event the earthquake on 28th May 2011, PGA great value be found in the Liwa region with a PGA score of 10-20 gal and its seismic intensity value is V-VI MMI. It happens because of the source the earthquake is in the western sea of Liwa.

Keywords: accelerograph, earthquakes, Lampung, PGA attenuation function

ABSTRAK

PERBANDINGAN NILAI PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM BERDASARKAN MODIFIKASI KONSTANTA ATENUASI DAN DATA ACCELEROGRAPH TAHUN 2008-2016 PADA STASIUN BMKG LAMPUNG

Oleh

PIPIT MELINDA MEITAWATI

Percepatan getaran tanah maksimum merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam mengestimasi tingkat kerusakan akibat gempabumi. Lampung sangat rentan bahaya gempabumi, karena secara tatanan tektonik berdekatan dengan zona tumbukan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Pada penelitian ini, dilakukan penentuan rumus empiris atenuasi *PGA* (*Peak Ground Acceleration*) berdasarkan persamaan atenuasi Lin dan WU (2010). Data yang digunakan dalam penelitian yaitu data *event* gempa dengan periode tahun 2008-2012. Melalui perhitungan analisis regresi, maka diperoleh fungsi atenuasi percepatan tanah di wilayah Lampung pada masing-masing stasiun *accelerograph*:

LWLI (Liwa)	: $\log_{10}(PGA) = -2,351 \times \log_{10}(R) + 0,574 \times (M) + 2,430$
KASI (Kota Agung)	: $\log_{10}(PGA) = -2,522 \times \log_{10}(R) + 0,654 \times (M) + 2,182$
BLSI (Bandar Lampung)	: $\log_{10}(PGA) = -3,243 \times \log_{10}(R) + 0,651 \times (M) + 4,092$
KLI (Kotabumi)	: $\log_{10}(PGA) = -2,746 \times \log_{10}(R) + 0,751 \times (M) + 2,053$

Hasil verifikasi uji korelasi, grafik hubungan antara jarak dan magnitudo gempabumi, perbandingan peta kontur *PGA*, serta perbandingan antara nilai *PGA* model dengan hasil observasi *accelerograph* tahun 2013-2016 menunjukkan bahwa fungsi atenuasi percepatan tanah yang diperoleh relatif baik. Berdasarkan peta kontur atenuasi *PGA* model pada suatu *event* gempa tanggal 28 Mei 2011, nilai *PGA* besar terdapat pada wilayah Liwa dengan nilai *PGA* 10-20 gal serta nilai intensitas seismiknya yaitu V-VI MMI. Hal tersebut terjadi karena sumber gempabumi berada di laut bagian barat Liwa.

Kata kunci: *accelerograph*, fungsi atenuasi *PGA*, gempabumi, Lampung

**PERBANDINGAN NILAI PERCEPATAN TANAH
MAKSIMUM BERDASARKAN MODIFIKASI KONSTANTA
ATENUASI DAN DATA ACCELEROGRAPH TAHUN 2008-2016
PADA STASIUN BMKG LAMPUNG**

Oleh
PIPIT MELINDA MEITAWATI

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2017**

Judul Skripsi

: PERBANDINGAN NILAI PERCEPATAN
TANAH MAKSIMUM BERDASARKAN
MODIFIKASI KONSTANTA ATENUASI
DAN DATA ACCELEROGRAPH TAHUN
2008-2016 PADA STASIUN BMKG
LAMPUNG

Nama Mahasiswa

: *Pipit Melinda Meitawati*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315051042

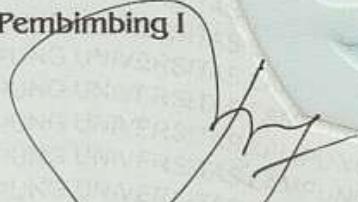
Jurusan

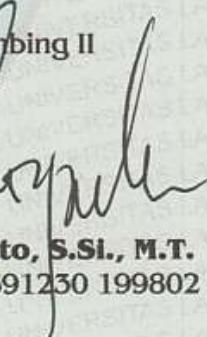
: Teknik Geofisika

Fakultas

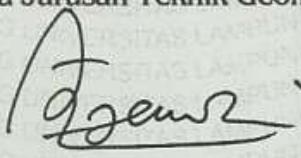
: Teknik



Pembimbing I

Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

Pembimbing II

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

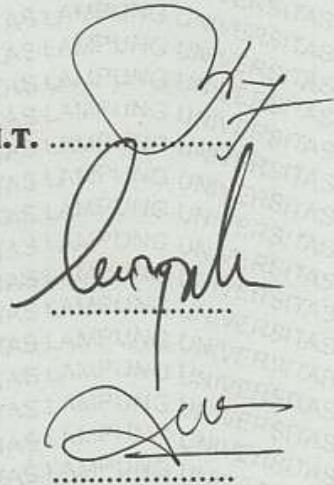

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720928 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Ketua

: **Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**

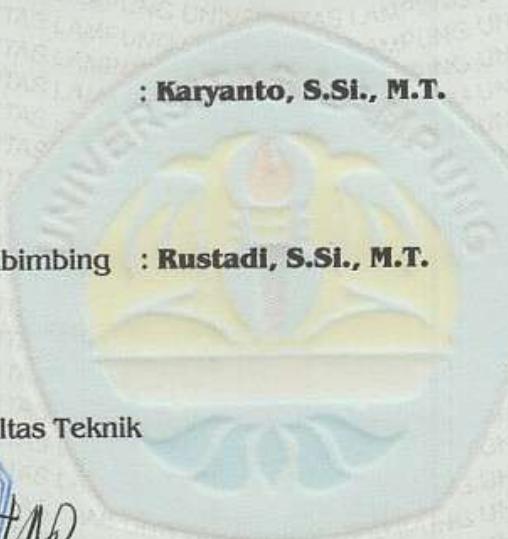


Sekretaris

: **Karyanto, S.Si., M.T.**

Pengaji

Bukan Pembimbing : **Rustadi, S.Si., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 September 2017**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, September 2017



Pipit Melinda Meitawati
NPM. 1315051042

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pujorahayu, Kec. Negri Katon Kab.

Pesawaran pada tanggal 17 Mei 1995, anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Sajiran dan Ibu Sri Mulyani.

Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar (SD)

Negeri 1 Kediri, Kec. Gadingrejo, Kab. Pringsewu diselesaikan pada tahun 2007, pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 3 Gadingrejo, Kab. Pringsewu diselesaikan pada tahun 2010, pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Gadingrejo Kab. Pringsewu diselesaikan pada tahun 2013.

Pada tahun 2013, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Penulis terdaftar sebagai anggota bidang Kesekretariatan pada periode 2014/2015, 2015/2016. Pada bulan Januari tahun 2016 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Yuda Karya Jitu, Kecamatan Rawa Jitu Timur, Kabupaten Tulang Bawang. Pada bulan Agustus tahun 2016 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di BPPTKG Merapi, Yogyakarta. Pada bulan Februari tahun 2017 penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir di BMKG Kotabumi, Lampung.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Atas ridho Allah SWT dan segala kerendahan hati, kan ku persembahkan skripsi
ini kepada:

*Ayahanda tercinta, Bapak Sajiran
Ibunda tersayang, Umi Sri Mulyani
Adikku terkasih, Dwi Putra Anggara*

Keluarga besarku

*Teknik Geofisika Universitas Lampung 2013
Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung
Almamater ku tercinta Universitas Lampung
Sahabat-sahabatku dan orang-orang terkasih.*

MOTTO

Berangkat dengan penuh keyakinan

Berjalan dengan penuh keikhlasan

Istiqomah dalam menghadapi cobaan

*Jadilah seperti batu karang di lautan yang kuat dihantam
ombak dan kerjakanlah hal yang bermanfaat untuk diri
sendiri dan orang lain, karena hidup hanya sekali. Ingat
hanya pada Allah apapun dan dimanapun kita berada
kepada Dia-lah tempat meminta dan memohon.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji bagi Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat, petunjuk, dan ilmu kepada penulis, sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah untuk baginda besar Muhammad S.A.W.

Skripsi yang berjudul “Perbandingan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Berdasarkan Modifikasi Konstanta Atenuasi dan Data *Accelerograph* Tahun 2008-2016 pada Stasiun BMKG Lampung” merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di BMKG Kotabumi, Lampung. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan.

Atas segala kekurangan dan ketidak sempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun kearah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, September 2017
Penulis

Pipit Melinda Meitawati

SAN WACANA

Dalam pelaksanaan dan penyelesaian skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang bersangkutan yaitu:

1. **Allah S.W.T** yang telah memberikan nikmat dan karuniaNya atas kelancaran dalam penyusunan skripsi ini.
2. **Bapak (SAJIRAN)** dan **Umi (SRI MULYANI)** ku tercinta, atas segalanya yang telah diberikan, engkau adalah inspirasi dan motivasi terbesarku untuk dapat menyelesaikan pendidikan. Terimakasih Bapak dan Umi, aku sangat bangga dan bahagia memiliki sosok sepetimudidunia ini. Semoga Allah memberikan kita umur yang panjang dalam kesehatan dan kebahagiaan agar bersama-sama kita dapat menikmati keberhasilanku.
3. **Adikku (Dwi Putra Anggara)** Kebersamaan yang pernah kita ukir dari mulai mengenal dunia takkan pernah berakhir masanya, kasih sayang yang kita rasakan takkan pernah sirna hingga akhir dunia. Tingkah lakumu selalu jadi penyemangat disela-sela kejemuhan.
4. **Bapak Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing I dan dosen Pembimbing Akademik (PA) atas semua kesabaran, bimbingan, kritikan, saran dan kesedian untuk meluangkan waktu disela-sela kesibukan.

5. **Bapak Karyanto, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya, memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
6. **Bapak Rustadi, S.Si., M.T.**, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan masukan terhadap skripsi ini.
7. **Bapak Prof. Drs. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
8. **Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, M.T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
9. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah berbagi ilmu dan pengalaman selama perkuliahan.
10. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, **Pak Marsuno** dan **Mbak Dewi** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi.
11. **Bapak Joharman, S.H** selaku pimpinan BMKG Kotabumi yang telah mengizinkan dan membantu penulis dalam melaksanakan Tugas Akhir.
12. **Pak Agung** dan **Mba Fadiah** yang telah banyak membantu dan memotivasi penulis selama melaksanakan tugas akhir di BMKG Kotabumi.
13. **Mba Juwita, Mba Ferina, Mba Dewi, Mba Vibri, Mas Devid, Pak Tris, Mas Gatut, Pak Rudi** serta seluruh pegawai BMKG Kotabumi yang telah banyak membantu penulis saat melaksanakan Tugas Akhir.
14. **BMKG pusat** yang telah mengizinkan dan memberikan data untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

15. Teman seperjuangan selama melaksanakan tugas akhir di BMKG Kotabumi yaitu **Deswita** dan **Ulfa** yang telah berbagi ilmu dan memotivasi penulis.
16. Teman-teman **Teknik Geofisika 2013** yang memberi dukungan, motivasi, keceriaan setiap harinya.
17. Keluarga Besar Teknik Geofisika Unila angkatan 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 dan 2016 yang telah memberikan dukungan, do'a dan semangat untuk penulis.
18. Seluruh **keluarga besarku** yang telah membantu dalam berbagai hal dan selalu memberi do'a dan dukungan agar menjadi orang yang berhasil.
19. **Yuda Puspito** yang selalu memberikan motivasi, semangat dan doa yang tiada hentinya untuk penulis.
20. Terimakasih banyak atas semua pihak yang telah terlibat, yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu. Semoga apa yang telah kalian berikan akan mendapatkan balasan dari Allah S.W.T.

Bandar Lampung, September 2017
Penulis

Pipit Melinda Meitawati

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	3
C. Batasan Masalah	3
D. Manfaat Penelitian	3

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Letak Geografis Daerah Penelitian	5
B. Geologi Regional Daerah Penelitian.....	6
C. Tektonik Regional Daerah Penelitian	7
D. Fisiografi Daerah Penelitian	9
E. Letak Stasiun <i>Seismograph</i> BMKG Wilayah Lampung	10
F. Sejarah Gempabumi Wilayah Lampung	11

III. TEORI DASAR

A. <i>Accelerograph</i>	13
B. Percepatan Tanah Maksimum.....	16
C. Magnitudo	18
D. Rumus Empiris Percepatan Tanah	20
E. Analisis Regresi	22
F. Analisis Korelasi.....	25
G. Intensitas Seismik	25

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	27
B. Alat dan Bahan Penelitian	27
C. Data dan Sumber Data	27
D. Metodologi Penelitian.....	28
1. Menentukan Fungsi Atenuasi Percepatan Tanah	28
2. Menentukan Nilai Percepatan Tanah dan Intensitas Seismik	31
E. Diagram Alir Penelitian	32
F. Jadwal Penelitian	34

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	35
B. Pembahasan	36
1. Penentuan Fungsi Atenuasi Percepatan Gerakan Tanah Maksimum	36
2. Uji Korelasi antara Nilai <i>PGA</i> Hasil Perhitungan Persamaan Empiris Modifikasi dan Data Hasil Observasi <i>Accelerograph</i>	37
3. Perbandingan antara Nilai <i>PGA</i> Hasil Perhitungan Persamaan Empiris Modifikasi dan Persamaan Empiris <i>PGA</i> yang lain serta Data Hasil Perekaman <i>Accelerograph</i>	40
4. Grafik Hubungan antara Jarak, Nilai <i>PGA</i> Hasil Perhitungan Persamaan Empiris Modifikasi dan Persamaan Empiris <i>PGA</i> yang lain serta Data Hasil Perekaman <i>Accelerograph</i> dan Magnitudo 5 Mb dan 5,5 Mb	46
5. Perbandingan antara Peta Kontur <i>PGA</i> Observasi dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun <i>Accelerograph</i> LWLI, KASI, BLSI dan KLI	48

6. Hasil Nilai Percepatan Tanah dan Intensitas Seismik pada Suatu <i>Event</i> Gempa	60
---	----

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	65
B. Saran	66

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Jaringan Seismometer di Wilayah Lampung dan Sumatera Selatan	11
Tabel 2. Interpretasi Koefisien Korelasi (Sarwono, 2006)	25
Tabel 3. Intensitas Seismik (BMKG, 2017)	26
Tabel 4. Jadwal Penelitian.....	34
Tabel 5. Hasil Perhitungan Analisis Regresi Percepatan Gerakan Tanah Maksimum pada Stasiun <i>Accelerograph</i> di wilayah Lampung	35
Tabel 6. Hasil Perhitungan Koefisien Korelasi dan Tingkat Hubungan pada Stasiun <i>Accelerograph</i>	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar1. Peta Administrasi Provinsi Lampung (Gumuntur, 2008)	6
Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian	7
Gambar 3. Peta Fisiografi daerah Lampung (Mangga, dkk, 1993)	10
Gambar 4. Letak Sensor Accelerometer Daerah Penelitian	11
Gambar 5. Jenis-Jenis <i>Accelerograph</i> (Sativa, 2015).....	13
Gambar 6. Alur Peralatan <i>Accelerograph</i> (Sativa, 2015).....	14
Gambar 7. Peta Jaringan <i>Acceleroraph</i> di Indonesia (Sativa, 2015).....	15
Gambar 8. Titik Grid Penelitian	31
Gambar 9. Diagram alir penyelesaian fungsi atenuasi percepatan tanah serta membandingkannya dengan hasil observasi <i>accelerograph</i> dan metode fungsi atenuasi percepatan tanah lainnya.....	33
Gambar 10. Diagram alir pembuatan peta percepatan tanah dan intensitas seismik	34
Gambar 11. Korelasi <i>PGA</i> Observasi dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun LWLI.....	37
Gambar 12. Korelasi <i>PGA</i> Observasi dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun KASI	38
Gambar 13. Korelasi <i>PGA</i> Observasi dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun BLSI	38
Gambar 14. Korelasi <i>PGA</i> Observasi dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun KLI	39
Gambar 15. Grafik Verifikasi <i>PGA</i> Observasi, <i>PGA</i> Fungsi Empiris Lain, dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun LWLI	41
Gambar 16. Grafik Verifikasi <i>PGA</i> Observasi, <i>PGA</i> Fungsi Empiris Lain, dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun KASI.....	42

Gambar 17. Grafik Verifikasi <i>PGA</i> Observasi, <i>PGA</i> Fungsi Empiris Lain, dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun BLSI	43
Gambar 18. Grafik Verifikasi <i>PGA</i> Observasi, <i>PGA</i> Fungsi Empiris Lain, dan <i>PGA</i> Model pada Stasiun KLI	44
Gambar 19. Grafik hasil model atenuasi <i>PGA</i> dan fungsi atenuasi lainnya, terhadap jarak <i>accelerograph</i> untuk magnitudo 5 Mb.....	47
Gambar 20. Grafik hasil model atenuasi <i>PGA</i> dan fungsi atenuasi lainnya, terhadap jarak <i>accelerograph</i> untuk magnitudo 5,5 Mb.....	47
Gambar 21. Peta Kontur <i>PGA</i> Observasi pada Stasiun LWLI	49
Gambar 22. Peta Kontur <i>PGA</i> Model pada Stasiun LWLI.....	50
Gambar 23. Peta Kontur <i>PGA</i> Observasi pada Stasiun KASI.....	52
Gambar 24. Peta Kontur <i>PGA</i> Model pada Stasiun KASI	53
Gambar 25. Peta Kontur <i>PGA</i> Observasi pada Stasiun BLSI	55
Gambar 26. Peta Kontur <i>PGA</i> Model pada Stasiun BLSI	56
Gambar 27. Peta Kontur <i>PGA</i> Observasi pada Stasiun KLI	58
Gambar 28. Peta Kontur <i>PGA</i> Model pada Stasiun KLI	59
Gambar 29. Peta Kontur Atenuasi <i>PGA</i> Model Gempa 28 Mei 2011	61
Gambar 30. Peta Kontur Intensitas Seismik Model Gempa 28 Mei 2011.....	63

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Lampung memiliki banyak sumber gempabumi, di antaranya yaitu pada zona subduksi dan zona Patahan Besar Sumatera. Posisi wilayah penelitian berdekatan dengan jalur tumbukan dua lempeng tektonik, dimana Lempeng Indo-Australia bergerak dan menunjam ke bawah Lempeng Eurasia, sehingga menimbulkan Zona Subduksi. Sumber-sumber gempabumi tidak hanya bersumber dari Zona Subduksi tetapi juga dari Patahan Besar Sumatera yang menyebabkan wilayah Lampung rawan terhadap gempabumi.

Banyaknya daerah berkembang dengan penduduk yang padat di wilayah Lampung, maka diperlukan suatu penanggulangan resiko gempabumi untuk mengurangi dampak akibat bencana gempabumi. Salah satu cara untuk menanggulangi permasalahan tersebut, yaitu dengan membuat konstruksi bangunan tahan gempa. Informasi tentang nilai percepatan tanah maksimum dan pola sebarannya merupakan sesuatu yang penting diketahui dalam perencanaan serta pembangunan insfrakstuktur tahan gempa.

Percepatan gerakan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (*PGA*) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk studi tingkat

kerusakan tanah yang terjadi di permukaan bumi akibat guncangan gempabumi. Percepatan gerakan tanah maksimum dapat diketahui melalui dua cara, yaitu pengukuran dengan menggunakan alat *accelerograph* dan melalui pendekatan empiris. Studi tentang tingkat risiko gempabumi di Indonesia masih banyak menggunakan formula atenuasi yang diperoleh dari luar Indonesia dengan asumsi adanya kesamaan geologi dengan wilayah di Indonesia karena belum ada formula khusus atenuasi percepatan tanah maksimum di Indonesia.

Telah banyak dilakukan studi kasus mengenai nilai percepatan tanah maksimum di suatu wilayah diantaranya, yaitu rumusan fungsi atenuasi percepatan tanah maksimum di Taiwan (Lin dan Wu, 2010), kajian rumus empiris percepatan tanah maksimum di daerah Bali dan sekitarnya (Setiawan, 2012), penentuan formula empiris percepatan tanah maksimum di zona gempa Tasikmalaya Tanggal 2 September 2009 (Diyanti, 2010), dan sebagainya. Dengan menghitung besarnya percepatan tanah maksimum di suatu wilayah, maka dapat diketahui daerah mana yang rawan mengalami kerusakan saat terjadi gempabumi.

Pemasangan alat *accelerograph* di wilayah Lampung ada 6 stasiun, sehingga perlu adanya penelitian untuk menentukan fungsi atenuasi percepatan tanah maksimum khusus di wilayah Lampung. Penelitian dilakukan menggunakan data yang diperoleh dari pembacaan *accelerograph* untuk mengetahui formula atenuasi yang sesuai di wilayah Lampung. Hal tersebut dilakukan karena belum diketahuinya formula atenuasi yang sesuai untuk wilayah Lampung.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mencari rumusan empiris percepatan tanah maksimum wilayah Lampung yang sesuai dengan data hasil pencatatan *accelerograph*.
2. Membuat peta percepatan tanah maksimum dan intensitas seismik pada suatu *event* gempabumi di wilayah Lampung berdasarkan fungsi atenuasi percepatan tanah maksimum yang diperoleh dan data historis gempabumi.

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan mencari formula atenuasi percepatan gerakan tanah maksimum yang sesuai untuk wilayah Lampung serta membuat peta percepatan tanah maksimum dan intensitas seismik pada suatu *event* gempabumi di wilayah Lampung berdasarkan fungsi atenuasi percepatan tanah maksimum yang diperoleh dan data historis gempabumi. Data *accelerograph* yang digunakan, yaitu data pada periode 2008-2016. Pendekatan rumus yang digunakan dalam pengolahan data, yaitu menggunakan rumusan Esteva, Setiawan, LIN dan Wu. Diasumsikan bahwa data hasil pencatatan *accelerograph* di setiap stasiun Lampung adalah benar.

D. Manfaat Penelitian

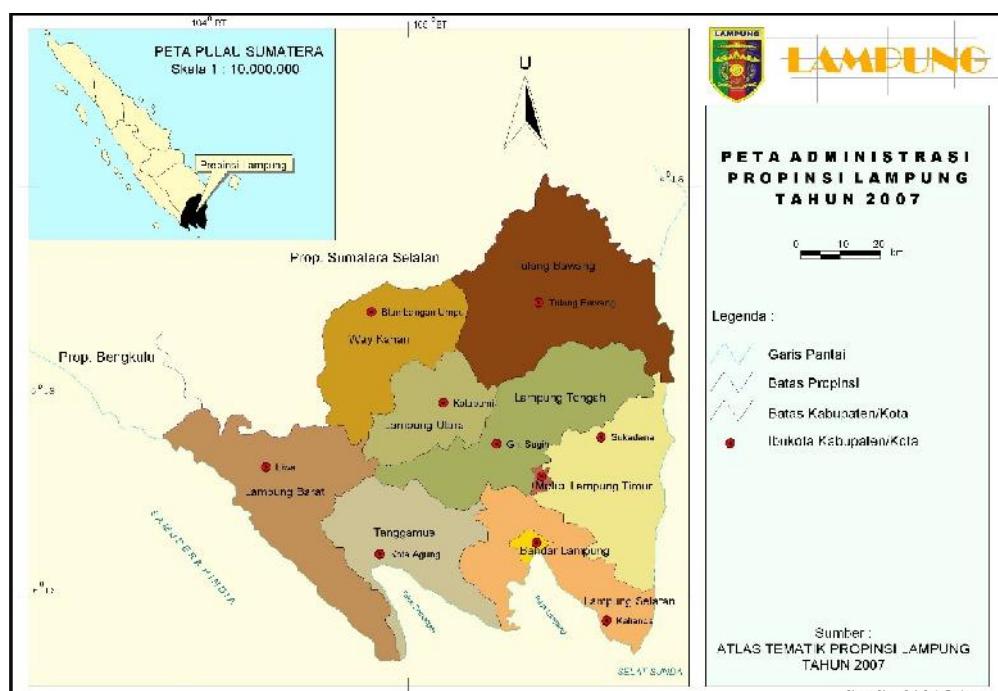
Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui formula atenuasi percepatan gerakan tanah yang sesuai untuk wilayah Lampung karena belum diketahuinya formula atenuasi percepatan gerakan tanah maksimum yang sesuai untuk wilayah Lampung. Formula atenuasi percepatan gerakan tanah

maksimum digunakan untuk menghitung besarnya percepatan tanah maksimum di wilayah Lampung, sehingga dapat diketahui daerah mana yang rawan mengalami kerusakan saat terjadi gempabumi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

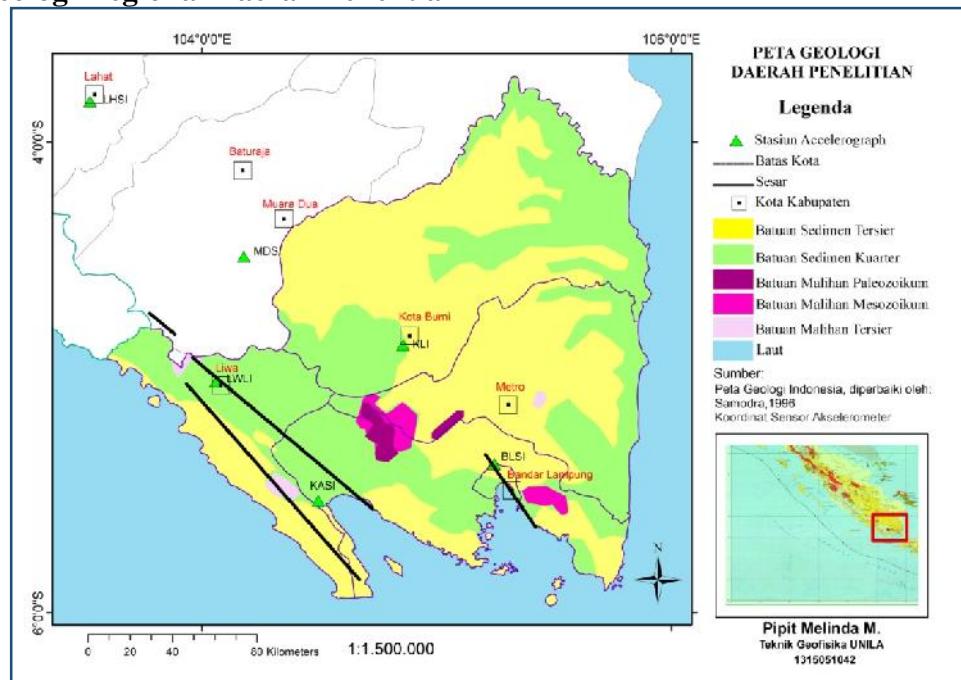
A. Letak Geografis Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada koordinat 103.5° - 106° BT dan 4.5° - 6° LS. Batas wilayah Provinsi Lampung, sebelah utara berbatasan dengan Provinsi Bengkulu dan Provinsi Sumatera Selatan, di sebelah timur berbatasan dengan Laut Jawa, di sebelah selatan dengan Selat Sunda dan di sebelah barat dengan Samudera Hindia. Provinsi Lampung memiliki 13 Kabupaten dan 2 Kota Madya, dengan luas $\pm 35.288,35$ km 2 .



Gambar 1. Peta Administrasi Provinsi Lampung (Gumuntur, 2008).

B. Geologi Regional Daerah Penelitian



Gambar 2 Peta Geologi Daerah Penelitian

Geologi daerah penelitian masuk dalam wilayah Lampung dan Sumatera Selatan. Geologi Provinsi Lampung secara keseluruhan berada pada empat lembar peta geologi skala 250.000, yaitu Lembar Tanjung Karang, Lembar Kota Agung, Lembar Baturaja, dan Lembar Menggala. Wilayah Lampung telah mengalami tiga kali proses orogenesis, yaitu pada:

1. Mesozoikum Tengah
2. Kapur Akhir sampai Tersier Awal
3. Plio-Plistosen sampai pada saat ini.

Geologi daerah penelitian bagian barat dibagi menjadi lima satuan, yaitu dataran rendah, perbukitan bergelombang, dataran tinggi, daerah pegunungan serta kerucut gunungapi. Dataran rendah terletak di sekitar Pantai Barat Lampung serta Teluk Semangka di sekitar Kota Agung. Perbukitan

bergelombang mendominasi Daerah Lampung bagian barat. Secara umum stratigrafi daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu:

- Kelompok Batuan Pra Tersier, meliputi Kelompok Gunung Kasih, Komplek Sulan, Formasi Menanga.
- Kelompok Batuan Tersier, meliputi Formasi Kantur
- Kelompok Batuan Kuarter, meliputi Formasi Lampung, Formasi Kasai, Basal Sukadana, Endapan Gunungapi Muda serta Aluvial (Mangga dkk, 1986).

C. Tektonika Regional Daerah Penelitian

Lampung merupakan salah satu wilayah di Indonesia dengan aktivitas kegempaan yang tinggi, karena disepanjang Laut Barat Sumatera terdapat Zona Subduksi antara Lempeng Eurasia dengan Lempeng Indo-Australia. Lempeng Indo-Australia menunjam kebawah Lempeng Eurasia dengan kecepatan rata-rata 60 mm/tahun. Zona Subduksi Lempeng tersebut yang menjadi pusat gempabumi tektonik yang terjadi setiap tahunnya.

Selain dekat dengan Zona Subduksi, Lampung juga dilewati oleh sesar tektonik aktif yang membentang dari Aceh hingga Selat Sunda yang dikenal dengan Sesar Sumatera atau Sesar Semangko. Panjang sesar aktif tersebut sekitar 1.900 km yang terbagi menjadi 19 segmen-semen utama. Segmen Kumering, Segmen Semangko dan Segmen Sunda merupakan 3 segmen yang melewati daratan Provinsi Lampung. Aktivitas sesar tektonik tersebut yang menyebabkan kejadian gempabumi Liwa 16 Februari 1994 tepatnya di Segmen Kumering dan gempabumi tersebut kembali terjadi pada 2 Mei dan

18 Juni 2016 yang diakibatkan oleh aktivitas Segmen Kumering dan Segmen Semangko (Sieh dan Natawidjaja, 2000).

Lampung terpotong oleh patahan-patahan besar sejajar memanjang sumbu Pulau Sumatera yang berarah barat laut – tenggara. Kedua zona gempa ini sangat aktif dan merupakan manifestasi dari tumbukan Lempeng Samudera (*Australian Plate*) dengan Lempeng Benua (*Asian Plate*).

- Zona Subduksi

Zona Subduksi merupakan zona tumbukan antara Lempeng Tektonik Australia dengan Lempeng Tektonik Asia. Jika zona gempa ini dangkal dan berada di laut akan menyebabkan tsunami seperti yang terjadi pada tsunami Aceh tahun 2004 lalu. Zona gempa ini menunjam sampai kedalaman lebih dari 70 km. Zona tumbukan ini juga diperkirakan menyebabkan melelehnya batuan yang menjadi sumber magma gunung-gunung api sepanjang Sumatera, yang juga memanjang hingga ke Pulau Jawa.

- Zona Sesar Semangko

Zona patahan ini memanjang dibagian barat Pulau Sumatera yang menyebabkan terbentuknya beberapa danau di Sumatera termasuk Danau Singkarak yang merupakan amblesan akibat pergeseran sesar ini dan terbentuknya Lembah Suoh di Lampung Barat. Histori kegempaan yang terjadi pada segmen ini diataranya adalah kejadian gempabumi pada tanggal 26 Juli 1908.

- Sesar Kumering

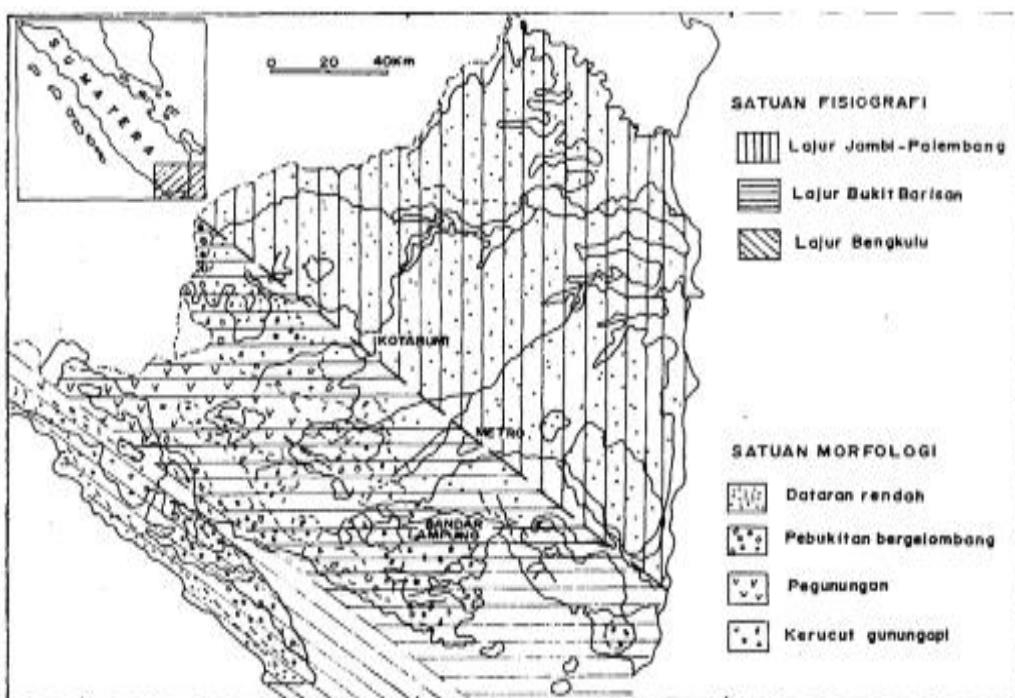
Segmen Kumering memiliki panjang 150 km. Segmen melewati Danau Ranau yang berada diperbatasan antara Provinsi Lampung dan Provinsi

Sumatra Selatan. Histori kegempaan yang terjadi adalah gempabumi Liwa pada tanggal 24 Juni 1933 dengan kekuatan 7,5 Ms. Selain itu gempabumi Liwa tanggal 16 Pebruari 1994 dengan Mw 6,8 juga terjadi pada segmen ini.

Selain 3 sesar tersebut, wilayah Lampung juga terdapat sesar patahan aktif yang disebut sebagai Sesar Tarahan. Sesar Tarahan berada di sepanjang pantai bagian timur Teluk Lampung. Sesar ini menerus ke daratan melalui daerah Tarahan, Panjang dan lereng timur Gunung Rajabasa sampai ke perairan Selat Sunda. Struktur sesar diduga sebagai jenis sesar mendatar yang bergerak relatif menganan dipengaruhi oleh adanya gerak vertikal.

D. Fisiografi Daerah Penelitian

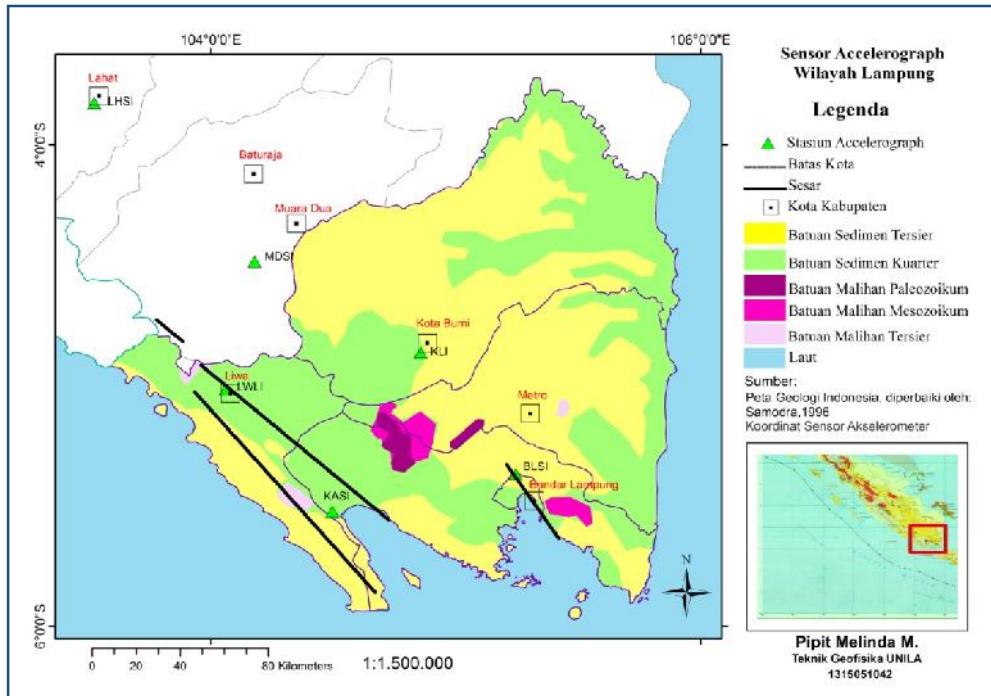
Wilayah Lampung dibagi menjadi tiga satuan morfologi, yaitu: dataran bergelombang di bagian timur dan timurlaut, pegunungan kasar di bagian tengah dan baratdaya, dan daerah pantai berbukit sampai datar. Daerah dataran bergelombang terdiri dari endapan *Vulkano Klastika, Tersier-Kuarter* dan *Aluvium* dengan ketinggian beberapa puluh meter di atas muka laut. Pegunungan Bukit Barisan terdiri dari batuan beku dan malihan serta batuan gunungapi muda. Daerah lereng umumnya curam dengan ketinggian sampai dengan 500-1.680 m diatas muka laut. Daerah pantai memiliki topografi yang beraneka ragam dan terdiri dari pebukitan terjal, dengan ketinggian mencapai 500 m di atas muka laut dan terdiri dari batuan Gunungapi Tersier dan Kuarter serta batuan terobosan.



Gambar 3. Peta Fisiografi daerah Lampung (Mangga, dkk, 1993)

E. Letak Sensor Accelerometer BMKG Wilayah Lampung

Untuk mendukung monitoring gempabumi di wilayah Lampung telah dipasang seismometer dan accelerometer. Alat ini berfungsi untuk menerima penjalaran gelombang yang terjadi akibat aktivitas lempeng tektonik. Dari data yang di peroleh seismograph dapat digunakan untuk menentukan parameter gempabumi seperti waktu, episenter, magnitude dan kedalaman. Sedangkan *accelerograph* mempunyai tingkat kemampuan yang lebih baik karena sudah dapat mengukur percepatan gerakan tanah (*strong motion*).



Gambar 4. Letak Sensor Accelerometer Daerah Penelitian

Jaringan seismograph yang dipasang di Wilayah Lampung dan Sumatera Selatan terdapat dua jenis jaringan, yaitu Jaringan LIBRA (Indonesia) dan Jaringan CEA (China).

Kode	Stasiun	Koordinat	Elevasi	Jaringan
KLI	Kotabumi (Lampung Utara)	-04.84, 104.87	60 m	LIBRA
LWLI	Liwa (Lampung Barat)	-05.02, 104.06	934 m	LIBRA
BLSI	Bandar Lampung	-05.36, 105.24	138 m	LIBRA
KASI	Kota Agung (Tanggamus)	-05.52, 104.49	45 m	LIBRA
MDSI	Muaradua (Sumsel)	-04.48, 104.17	135 m	LIBRA
LHSI	Lahat (Sumsel)	-03.82, 103.52	180 m	LIBRA

Tabel 1. Jaringan Seismometer di Wilayah Lampung dan Sumatera Selatan

F. Sejarah Gempabumi Wilayah Lampung

Daerah Liwa sangat rawan gempabumi, karena terletak di atas segmen Patahan Semangko yang aktif. Gempabumi yang terjadi pada tahun 1933,

berkekuatan sekitar 7.5 SR yang berpengaruh dari utara lembah Suoh sampai ke perbatasan Bengkulu sepanjang kurang lebih 100 km. Hasil analisa lokal sementara menunjukkan perioda ulang gempa sekitar 200-250 tahun. Sistem patahan secara regional menunjukan perpindahan gempabumi (energi gempabumi) dari daerah selatan ke utara dengan selang waktu kejadian sekitar 20-30 tahun.

Gempa bumi Liwa kembali terjadi pada 15 Februari 1994 dengan kekuatan 7,2 Ms, yang mengakibatkan kerusakan parah di Liwa, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung dengan gempa yang berpusat di Sesar Semangko, Samudera Hindia. Kurang lebih 196 orang dari beberapa desa dan kecamatan di Lampung Barat meninggal, sementara jumlah korban yang terluka hampir mencapai 2000 orang. Jumlah penduduk yang kehilangan tempat tinggal hampir mencapai 75 ribu.

III. TEORI DASAR

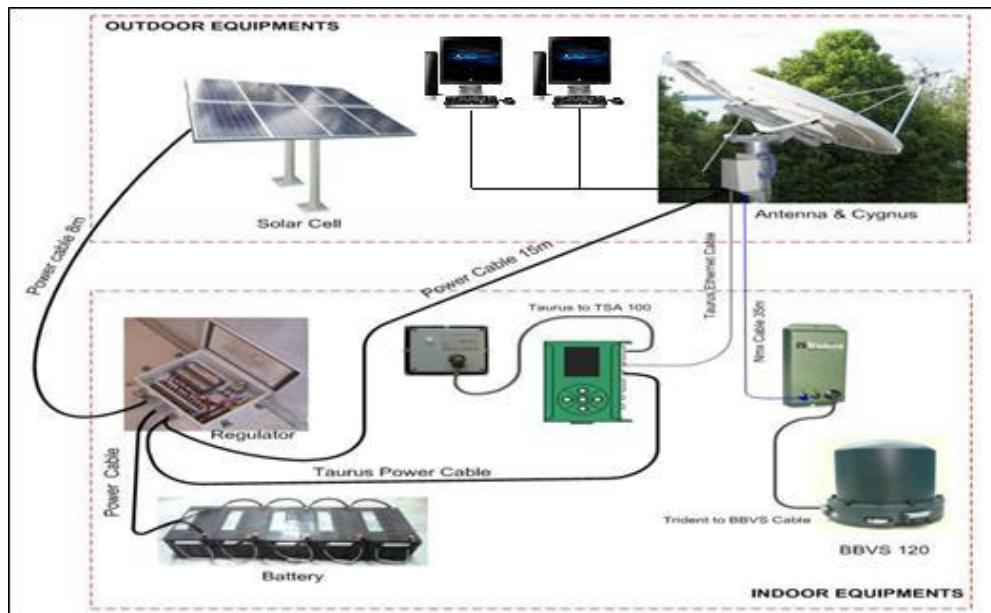
A. *Accelerograph*

Accelerograph adalah instrumen yang digunakan untuk merekam guncangan permukaan tanah yang sangat akurat untuk mengukur percepatan getaran permukaan tanah. Rekaman *accelerograph* pada kejadian gempabumi sangat bermanfaat salah satunya untuk mendesain bangunan tahan gempa. Pada umumnya peralatan *accelerograph* ditempatkan pada daerah perkotaan yang populasinya lebih padat penduduk untuk investigasi variasi terhadap respon guncangan karena struktur geologi setempat.



Gambar 5. Jenis-Jenis *Accelerograph* (Sativa, 2015)

Sistem peralatan *accelerograph* pada umumnya didukung oleh sensor *accelerograph*, *digitizer*, data *logger*, modem, sistem komunikasi, sistem daya, komputer tampilan akuisisi dan analisis.

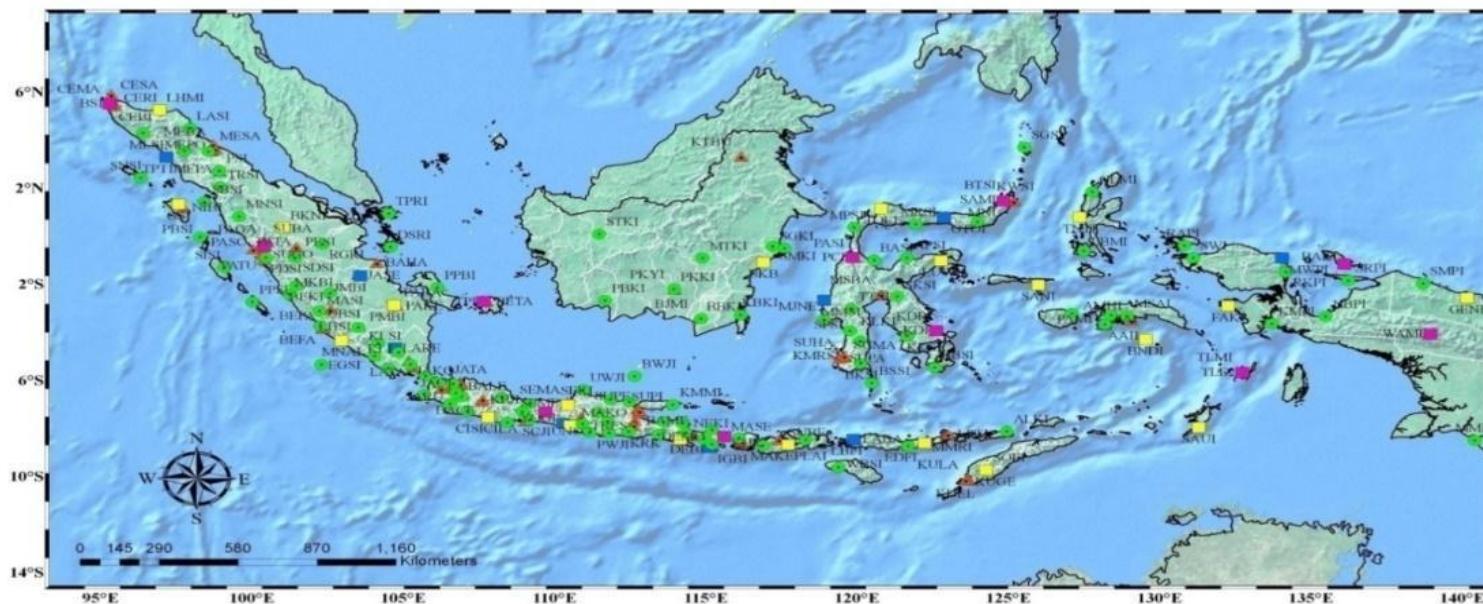


Gambar 6. Alur Peralatan *Accelerograph* (Sativa, 2015)

Sebaran jaringan *accelerograph* yang dimiliki oleh BMKG hingga 2015 baru mencapai 231 lokasi dan akan semakin bertambah banyak dan rapat guna mendukung penyempurnaan data percepatan getaran tanah di Indonesia.



PETA JARINGAN AKSELEROGRAF INDONESIA (231 LOKASI)



KETERANGAN :

- LIBRA COLOCATED (104 LOKASI)
- ▲ AKSELEROGRAF non COLOCATED INSTALASI TAHUN 2009 (30 LOKASI)
- ▲ AKSELEROGRAF non COLOCATED INSTALASI TAHUN 2010 (40 LOKASI)
- ▲ AKSELEROGRAF non COLOCATED TAHUN 2011 (15 LOKASI)

- JAPAN
- GFZ
- CEA

(Sumber : Bidang Seismologi Teknik BMKG Pusat Jakarta)

Gambar 7. Peta Jaringan Acceleroraph di Indonesia (Sativa, 2015)

B. Percepatan Tanah Maksimum

Percepatan gelombang seismik atau sering disebut percepatan tanah merupakan salah satu parameter yang penting dalam seismologi teknik. Perpindahan materi dalam penjalaran gelombang seismik biasa disebut *displacement*, sedangkan percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu.

Faktor sumber kerusakan dinyatakan dalam parameter percepatan tanah, sehingga data *PGA* akibat getaran gempabumi pada suatu lokasi sangat penting untuk menggambarkan tingkat resiko gempabumi di suatu lokasi tertentu. Semakin besar nilai *PGA* yang pernah terjadi di suatu tempat, semakin besar resiko gempabumi yang mungkin terjadi.

Percepatan tanah yang diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Nilai percepatan tanah terbagi menjadi dua jenis, yaitu percepatan tanah maksimum dan percepatan tanah sesaat. Percepatan tanah maksimum adalah nilai yang dihitung di titik amat atau titik penelitian pada permukaan bumi dari riwayat gempabumi dengan nilai perhitungan dipilih yang terbesar, sedangkan untuk nilai percepatan tanah sesaat merupakan nilai percepatan tanah pada saat gempabumi terjadi.

Percepatan tanah berbanding terbalik dengan periode getaran tanah dan berbanding lurus dengan amplitudo getaran tanah di permukaan bumi. Harga percepatan tanah tersebut tidak dapat dihitung secara langsung dari persamaan-persamaan kecepatan, karena banyak faktor yang

mempengaruhinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai percepatan tanah, antara lain :

a. Besarnya kekuatan gempabumi (Magnitudo)

Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempabumi, menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempabumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan seismograf.

b. Kedalaman

Kedalaman sumber gempa bervariasi, yaitu gempa dangkal, gempa menengah dan gempa dalam yang batasanya tergantung dari kekuatan tektonik setempat. Keadaan tektonik Daerah Sumatera dan sekitarnya dipengaruhi oleh subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Klasifikasi kedalaman sumber gempa yang umum digunakan, yaitu:

1. Gempa dangkal ($h = 0 - 60$ km)
2. Gempa menengah ($h = 61-300$ km)
3. Gempa dalam ($h = > 300$ km)

c. Jarak episenter

Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempabumi. Lokasi Episenter dibuat dalam sistem koordinat kartesian bola bumi atau sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur.

d. Sifat fisis batuan

Sifat fisis tanah dan batuan tempat terjadinya gempa merupakan hal yang sangat penting, karena dengan melakukan penelitian sifat fisis tanah dan

batuan dapat diperoleh informasi secara pasti bagaimana sifat pergerakan dari lempeng yang akan mempengaruhi batuan yang ada di permukaan bumi. Sifat fisik batuan breksi vulkanik dengan sementasi lemah sehingga mudah lepas.

Nilai percepatan tanah dapat dihitung langsung dengan seismograf yang disebut *strong motion seismograph* atau *accelerograph*. Mengingat jaringan *accelerograph* di Indonesia belum sebaik di negara lain seperti Jepang, maka pengukuran percepatan tanah dilakukan dengan cara empiris, yaitu dengan pendekatan dari beberapa rumus yang diturunkan dari magnitudo gempa atau data intensitas. Perumusan ini tidak selalu benar, bahkan dari satu metode ke metode lainnya tidak selalu sama, namun cukup memberikan gambaran umum tentang *PGA* (Ibrahim dan Subardjo, 2005).

C. Magnitudo

Magnitudo gempa merupakan parameter gempa yang berhubungan dengan besarnya kekuatan gempa di sumbernya (Borman, 2002). Kejadian dua atau lebih gempabumi dengan kekuatan yang berbeda dan terekam untuk geometri sumber penerima yang sama, maka gempabumi dengan kekuatan yang lebih besar akan menghasilkan gelombang datang dengan amplitudo yang lebih besar pula. Berikut beberapa macam magnitudo, yaitu:

1. Magnitudo Permukaan (M_s)

Magnitudo gelombang permukaan didapat berdasarkan amplitudo perpindahan tanah maksimum akibat gelombang permukaan dengan

periode 20 detik. Pada jarak episenter besar, gelombang badan mengalami pelemahan dan menyebar, sehingga menghasilkan gerakan yang didominasi oleh gelombang permukaan. Magnitudo gelombang permukaan biasanya digunakan untuk mendeskripsikan besarnya gempa dangkal dengan kedalaman < 70 km.

2. Magnitudo Badan (Mb)

Untuk gempa dengan kedalaman yang dalam, gelombang badan memberikan hasil yang lebih kecil dari gelombang permukaan. Magnitudo gelombang badan didasarkan pada amplitudo dari gelombang P dimana tidak terlalu dipengaruhi oleh kedalaman sumber gempa.

3. Magnitudo Momen (Mw)

Magnitudo momen yang didasarkan pada momen gempa dengan pengukuran langsung dari faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya keruntuhan disepanjang patahan.

Berikut akan dijelaskan hubungan antara beberapa magnitudo :

- Hubungan antara magnitudo permukaan (Ms) dengan magnitudo gelombang badan (Mb):

$$Ms = 1.59 mb - 3.97 \quad (1)$$

- Hubungan antara magnitudo permukaan (Ms) dengan momen seismik (Mo) :

$$\log Mo = 1.5 Ms + 16.1 \quad (2)$$

Hubungan antara momen seismik dengan magnitudo momen adalah seperti yang telah dijabarkan pada rumus di atas (3), maka dapat diturunkan

hubungan antara magnitudo momen (Mw) dengan magnitudo permukaan (Ms) adalah :

$$Mw = \left(\frac{1.5 Ms + 16.1}{1.5} \right) - 10.73 \quad (3)$$

D. Rumus Empiris Percepatan Tanah

Dalam menentukan nilai percepatan tanah maksimum, sejumlah metode empiris telah banyak digunakan dalam penelitian percepatan tanah maksimum. Beberapa metode pada umumnya memerlukan *input* data berupa magnitudo, kedalaman, dan jarak episenter gempabumi. Penentuan formula empiris percepatan tanah sebagian besar diturunkan di luar Indonesia, karena belumada formula khusus atenuasi percepatan tanah di Indonesia. Studi tentang tingkat risiko gempabumi di Indonesia masih banyak menggunakan formula atenuasi yang diperoleh dari luar Indonesia dengan asumsi adanya kesamaan geologi dengan wilayah di Indonesia.

Hingga saat ini, sudah banyak *accelerograph* terpasang di beberapa titik wilayah Indonesia. Perlu adanya penelitian untuk menentukan formula atenuasi percepatan tanah maksimum khusus di Indonesia dengan data yang diperoleh dari pembacaan *accelerograph*.

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis akan merujuk pada persamaan empiris Lin dan Wu (2010). Lin dan Wu membuat rumusan fungsi atenuasi percepatan tanah di Taiwan. Data yang digunakan pada penelitiannya adalah data 161 rekaman *accelerograph* untuk nilai *PGA* lebih dari 80 gal. Lin dan Wu mengembangkan fungsi atenuasi percepatan dari rumusan umum:

$$\log_{10}(PGA) = a \log_{10}(R) + bM + c \quad (4)$$

PGA adalah nilai percepatan getaran tanah, R adalah jarak, M adalah magnitudo, nilai a merupakan koefisien empiris dari jarak gempabumi, nilai b merupakan koefisien empiris dari magnitudo gempa, dan c adalah konstanta. Persamaan fungsi atenuasi percepatan getaran tanah berdasarkan Lin dan Wu adalah sebagai berikut:

$$\log_{10}(PGA) = -0.395 \times \log_{10}(R) + 0.125 \times (M) + 1.979 \quad (5)$$

Beberapa metode empiris yang digunakan dalam perhitungan percepatan tanah maksimum di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Rumus McGuire (1977)

Rumus ini diterapkan di wilayah California Selatan, dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$a = \frac{472.3 * 10^{0.278Ms}}{(R + 25)^{1.301}} \quad (6)$$

Dimana:

a : Nilai percepatan tanah maksimum (gals)

Ms : Magnitudopermukaan

R : Jarak hiposenter (km)

2. Rumus Fukushima dan Tanaka (1990)

Rumus ini diterapkan di wilayah Jepang, dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\log a = 0,41Ms - \log(R + 0,032 * 100.41Ms) - 0,0034R + 1,30 \quad (7)$$

Dimana:

a : Nilai percepatan tanah maksimum (gals)

M_s : Magnitudo permukaan

R : Jarak hiposenter (Km)

3. Rumus Esteva (1970)

Bentuk persamaan sebagai berikut:

$$a = \frac{5600(\exp^{0.5M})}{(r + 40)^2} \quad (8)$$

Dimana :

a : Nilai percepatan tanah maksimum (gals)

M_w : Magnitudo momen

R : jarak hiposenter (km)

4. Rumus Setiawan (2012)

Rumus ini merupakan adaptasi dari rumusan Lin dan Wu (2010) yang diterapkan di wilayah Bali. Perumusan formulanya adalah sebagai berikut:

$$\log_{10}(PGA) = (-2.0663)\log_{10}(R) + (0.9019)Mb + 0.1091 \quad (9)$$

dimana :

PGA : Nilai percepatan tanah maksimum (gals)

Mb : Magnitudo badan

R : Jarak hiposenter (Km)

E. Analisis Regresi

Analisis regresi digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dan untuk memprediksi nilai variabel terikat

dengan menggunakan variabel bebas. Dalam analisis regresi variabel bebas berfungsi untuk menerangkan. Pada dasarnya regresi linier merupakan masalah inversi (Grandis, 2009).

Hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat adalah linier, maka disebut sebagai inversi linier. Permasalahan inversi secara umum dapat diformulasikan dengan melibatkan variabel atau parameter yang ada untuk dinyatakan sebagai notasi vektor atau matriks yang mempresentasikan variabel dengan banyak komponen atau elemen. Jika data (d) dan model (m) masing-masing dinyatakan oleh vektor:

$$d = [d_1, d_2, d_3, \dots, d_N]^T \quad (10)$$

$$m = [m_1, m_2, m_3, \dots, m_M]^T \quad (11)$$

Hubungan antara data dan model menjadi:

$$G(m) = d \quad (12)$$

Dimana G merupakan fungsi umum pemodelan ke depan (*forward modeling*) yang memetakan model menjadi besaran dalam domain data. Fungsi G memungkinkan kita memprediksikan data suatu model m .

Secara eksplisit setiap komponen pada persamaan (12) dapat dituliskan:

$$\begin{bmatrix} G_1(m_1 m_2 \dots m_M) \\ G_2(m_1 m_2 \dots m_M) \\ \vdots \\ \vdots \\ G_N(m_1 m_2 \dots m_M) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix} \quad (13)$$

Dimana G menyatakan fungsi prediksi data elemen ke- i hasil perhitungan fungsi pemodelan kedepan G sebagai fungsi model m . Fungsi G pada dasarnya adalah fungsi yang sama untuk semua $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

Perbedaannya, fungsi tersebut dihitung untuk variabel bebas tertentu, sehingga berasosiasi dengan komponen data tertentu.

1. Dalam metode inversi linier, akan di cari model parameter dari data yang di dapat. Untuk menghubungkan data dengan model parameter adalah dengan menjadikan persamaan matriks menjadi lebih sederhana:

$$Gm = d \quad (14)$$

Dinyatakan dalam matriks menjadi :

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & \dots & G_{1M} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & \dots & G_{2M} \\ \vdots & & & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ G_{N1} & G_{N2} & \dots & \dots & G_{NM} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ m_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix} \quad (15)$$

Dimana G adalah matriks *kernel* atau matriks $(N \times M)$. Kelinieran pada dasarnya untuk menunjukkan bahwa ada hubungan linier antara operasi dengan model parameter m .

2. Langkah berikutnya adalah dengan menjadikan persamaan sebagai berikut, dimana masing-masing ruas dikali G^T .

$$G^T G m = G^T d \quad (16)$$

Dimana: T adalah transpose matriks G

Apabila sebelumnya matrik G merupakan matriks $(N \times M)$, maka menjadi matriks $(M \times N)$.

3. Masing-masing dari ruas dikalikan dengan $[G^T G]^{-1}$, sehingga tidak merubah nilai.
4. Persamaan menjadi :

$$[G^T G]^{-1} G^T G m = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (17)$$

Ingat bahwa dalam matriks, nilai inversi matriks jika dikalikan dengan

matriks sebelum inversi bernilai 1, sehingga:

$$[G^T G]^{-1} G^T G = 1 \quad (18)$$

5. Persamaan untuk mendapatkan model parameter menjadi :

$$m = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (19)$$

F. Analisis Korelasi

Koefesien korelasi merupakan pengukuran statistik kovarian atau asosiasi antara dua variabel. Besarnya koefesien korelasi berkisar antara +1 s/d -1. Koefesien korelasi menunjukkan kekuatan (*strength*) hubungan linear dan arah hubungan dua variabel acak. Jika koefesien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah. Jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi pula. Sebaliknya, jika koefesien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik. Jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan menjadi rendah dan berlaku sebaliknya. Untuk memudahkan melakukan interpretasi tentang kekuatan hubungan antara dua variabel, maka dibuat kriteria sebagai berikut:

Tabel 2. Interpretasi Koefisien Korelasi(Sarwono, 2006)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.00 – 0.199	Sangat Rendah
0.20 – 0.399	Rendah
0.40 – 0.599	Sedang
0.60 – 0.799	Kuat
0.80 – 1.000	Sangat Kuat

G. Intensitas Seismik

Intensitas seismik adalah skala yang dihitung berdasarkan kerusakan wilayah atau bangunan di dekat terjadinya gempabumi. Skala intensitas yang digunakan di Indonesia adalah skala *MMI* (*Modified Mercalli Intensity*).

Berikut hubungan nilai percepatan tanah dan intensitas seismik gempabumi:

Tabel 3. Intensitas Seismik (BMKG, 2017)

Skala BMKG	Percepatan Tanah (gal)	Skala MMI	Deskripsi
I	< 2.9	I-II	Dirasakan oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat
II	2.9- 88	III-V	dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan
III	89 - 167	VI	mengalami kerusakan ringan seperti genteng bergeser kebawah dsb.
IV	168 - 564	VII-VIII	terjadi kerusakan sedang seperti retakan yang terjadi pada dinding bangunan dsb.
V	>564	IX-XII	struktur bangunan mengalami kerusakan berat

Intensitas berbeda dengan magnitudo, karena intensitas adalah hasil pengamatan visual pada suatu tempat tertentu, sedangkan magnitudo adalah hasil pengamatan instrumental menggunakan seismograf. Pada suatu kejadian gempabumi besarnya intensitas pada tempat yang berbeda dapat sama atau berlainan, sedangkan besarnya magnitudo selalu sama walaupun dicatat atau dirasakan di tempat yang berbeda.

Hubungan percepatan getaran tanah dengan intensitas gempabumi dapat diketahui dengan pendekatan secara empiris menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah Metode Murphy & O'Brien (1977), yaitu :

$$\log(PGA) = 0.25 IMM + 0.25 \quad (20)$$

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Badan Meteorologi dan Klimatologi Geofisika (BMKG) Kotabumi, Lampung pada tanggal 1 Februari sampai dengan 30 Maret 2017 dengan judul Perbandingan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Berdasarkan Modifikasi Konstanta Atenuasi dan Data *Accelerograph* Tahun 2008-2016 pada Stasiun BMKG Lampung.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. *Laptop*
2. *Software Ms. Excel* 2013
3. *Software Surfer* 12
4. *Software Arc Map* 10.1

C. Data dan Sumber Data

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini,yaitu sebagai berikut:

1. Data parameter gempa di wilayah Lampung dan sekitarnya (101.5° - 106.5° BT dan 3° - 6.5° LS) dengan $M \geq 5$ m_b , meliputi lokasi gempa

(koordinat episenter), *original time*, kekuatan gempa, jenis magnitudo dan kedalaman pusat gempa, dengan menggunakan data *IRIS (Incorporate Research Institution of Seismology)* tahun 2008-2016.

2. Data observasi *accelerograph* di wilayah Lampung dan sekitarnya dengan menggunakan data dari BMKG tahun 2008 – 2016. Nilai percepatan maksimum (*PGA*) dalam penelitian ini dihitung dari gerak horizontal (*horizontal motion*).

D. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, ada beberapa langkah utama pengolahan data, yaitu:

1. Menentukan fungsi atenuasi percepatan tanah Daerah Lampung dan membandingkan hasil observasi *accelerograph* terhadap hasil fungsi atenuasi percepatan tanah yang diperoleh dan metode fungsi atenuasi percepatan tanah lainnya.
2. Menentukan percepatan tanah maksimum di wilayah Lampung berdasarkan fungsi atenuasi percepatan tanah yang diperoleh dan data historis gempa di wilayah Lampung dan sekitarnya.

D.1 Menentukan Fungsi Atenuasi Percepatan Tanah

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menentukan fungsi percepatan tanah, yaitu dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memilih data katalog gempa di wilayah Lampung dan sekitarnya dengan $M \geq 5M_b$ tahun 2008 – 2016
2. Memilih data percepatan tanah hasil analisis observasi *accelerograph* yang sesuai dengan kejadian gempa tersebut antara tahun 2008 – 2016
3. Menghitung nilai jarak hiposenter terhadap sensor *accelerograph* dengan menggunakan rumus segitiga bola.

$$R = \sqrt{(Xh - Xs)^2 + (Yh - Ys)^2 + (Zh - Zs)^2} \quad (21)$$

Dimana :

$$Xs = r * \cos \phi_s * \cos \theta_s$$

$$Ys = r * \cos \phi_s * \sin \theta_s$$

$$Zs = r * \sin \phi_s$$

$$Zh = (r - h) * \sin \phi_h$$

$$Xh = (r - h) * \cos \phi_h * \cos \theta_h$$

$$Yh = (r - h) * \cos \phi_h * \sin \theta_h$$

ϕ_s = Lintang stasiun

ϕ_h = Lintang hiposenter

θ_s = Bujur stasiun

θ_h = Bujur hiposenter

r = Jari-jari bumi (6371 km)

4. Menentukan $\log_{10}(PGA)_{obs}$, $\log_{10}(R)$ dan magnitudo untuk tiap *event* pencatatan *accelerograph*. Kemudian melakukan penyelesaian analisis regresi untuk mendapatkan nilai koefisien a , b dan c melalui persamaan matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} \log_{10}R_1M_1 & 1 \\ \log_{10}R_2M_2 & 1 \\ \dots & \\ \log_{10}R_nM_n & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \log_{10}(PGA)_1 \\ \log_{10}(PGA)_1 \\ \dots \\ \log_{10}(PGA)_1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\underline{G} \ m = d \quad (23)$$

Sehingga untuk pemecahan permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan:

$$m = (\underline{G}^T \underline{G})^{-1} \underline{G}^T d \quad (24)$$

Dimana m adalah matrik yang berisi nilai a , b dan c

Dari nilai a , b dan c , dapat diperoleh fungsi atenuasi percepatan tanah (metode Lin dan Wu, 2010), dengan rumusan umum:

$$\log_{10}(PGA) = a \log_{10}(R) + bM + c \quad (25)$$

Nilai a merupakan koefisien empiris dari jarak gempabumi, nilai b merupakan koefisien empiris dari magnitudo gempa, sementara c adalah konstanta. Setelah didapatkan fungsi atenuasi percepatan tanah, maka selanjutnya membandingkan hasil observasi *accelerograph* terhadap hasil fungsi atenuasi percepatan tanah yang diperoleh dan metode fungsi atenuasi percepatan tanah lainnya untuk melihat tingkat ketepatannya, melalui langkah-langkah berikut :

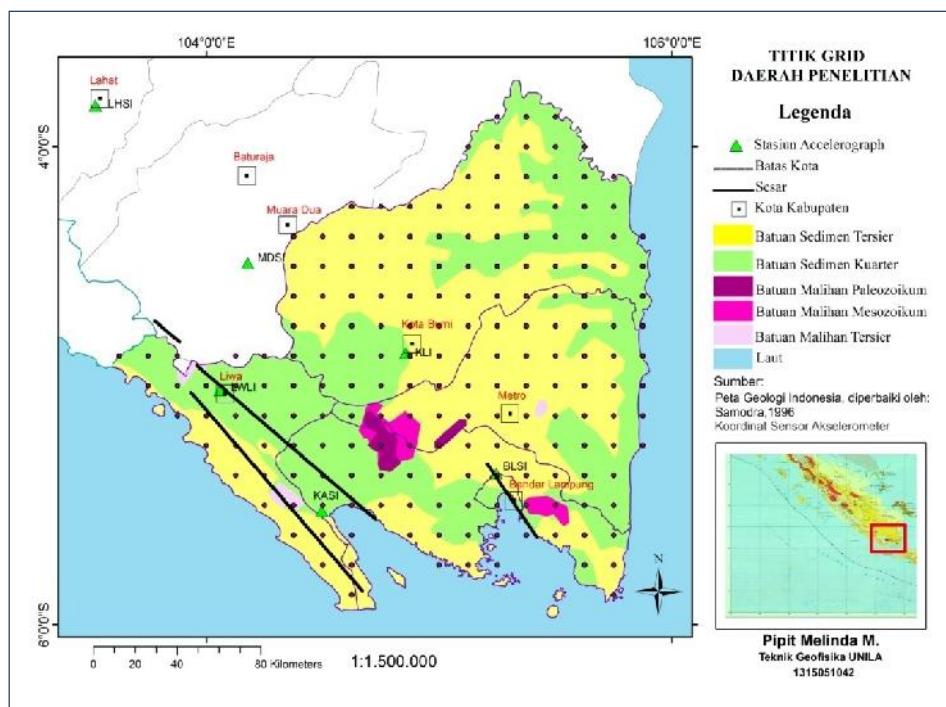
5. Pemilihan data katalog gempa di wilayah Lampung dan sekitarnya dengan $M \geq M_b$ tahun 2016
6. Konversi nilai magnitudo sesuai dengan perumusan metode fungsi atenuasi yang akan digunakan.
7. Pemilihan data percepatan tanah hasil analisis observasi *accelerograph* yang sesuai dengan kejadian gempa tersebut tahun 2016

8. Menghitung nilai $\log_{10}(PGA)$ observasi *accelerograph* dan nilai $\log_{10}(PGA)$ tiap fungsi atenuasi berdasarkan data parameter gempa, kemudian dibuat grafik untuk membandingkannya.

D.2 Menentukan Nilai Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik

Setelah diperoleh fungsi atenuasi percepatan tanah, maka di coba untuk mengidentifikasi nilai percepatan tanah dan nilai intensitas seismik untuk suatu kasus *event* gempa. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data histori gempa di wilayah Lampung dan sekitarnya.
2. Menentukan titik grid penelitian di wilayah Lampung dengan luas grid $(0.125^\circ \times 0.125^\circ)$



Gambar 8. Titik Grid Penelitian

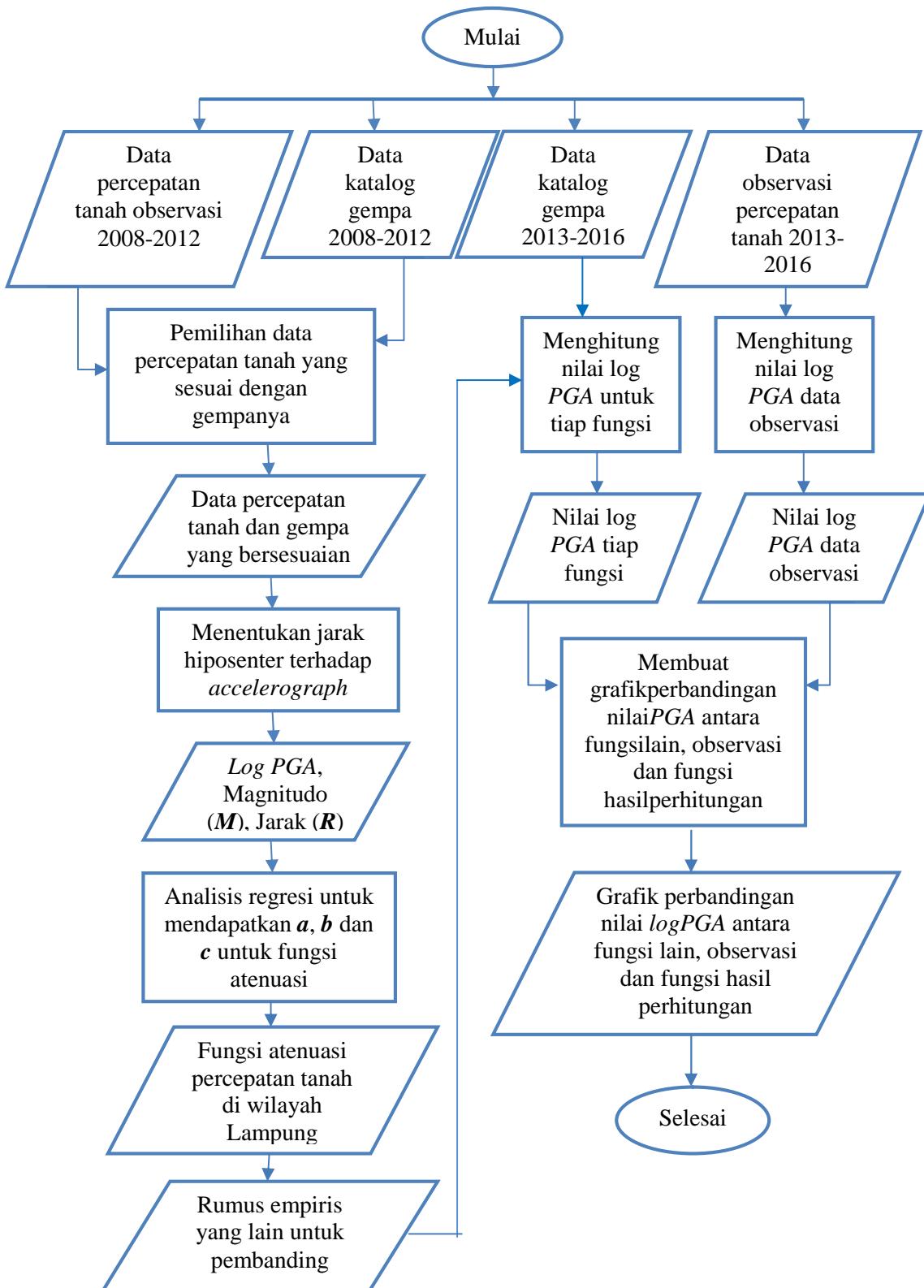
3. Menentukan jarak hiposenter

4. Menghitung nilai percepatan tanah di tiap titik grid dengan menggunakan fungsi atenuasi percepatan tanah berdasarkan data parameter gempa (magnitudo dan jarak hiposenter)
5. Menentukan nilai intensitas seismik
6. Pembuatan kontur percepatan tanah dan intensitas seismik.

E. Diagram Alir Penelitian

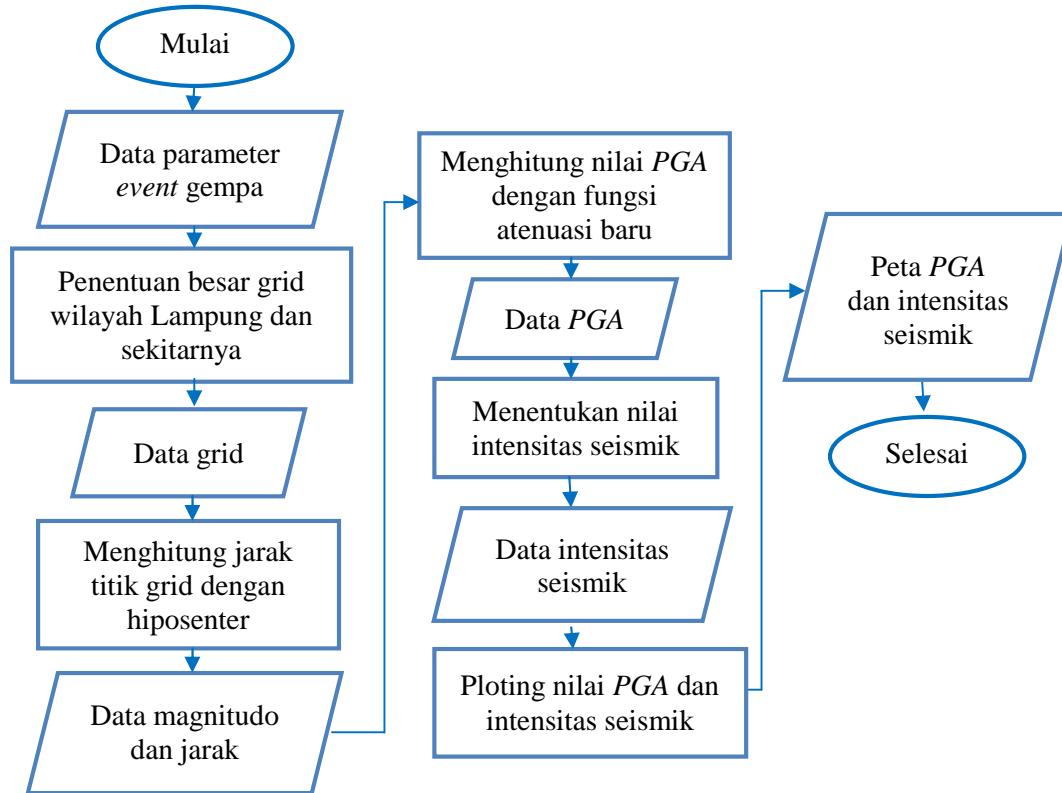
Adapun diagram alir penelitian yaitu:

1. Penyelesaian fungsi atenuasi percepatan tanah serta membandingkannya dengan hasil observasi *accelerograph* dan metode fungsi atenuasi percepatan tanah lainnya yaitu terdapat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Diagram alir penyelesaian fungsi atenuasi percepatan tanah serta membandingkannya dengan hasil observasi *accelerograph* dan metode fungsi atenuasi percepatan tanah lainnya.

2. Diagram alir pembuatan peta percepatan tanah dan intensitas seismik yaitu terdapat pada **Gambar 10**.



Gambar 10.Diagram alir pembuatan peta percepatan tanah dan intensitas seismik

F. Jadwal Penelitian

Adapun jadwal penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

Tabel. 4 Jadwal Penelitian

V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Adapun hasil yang diapat pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Analisis Regresi Percepatan Gerakan Tanah Maksimum pada Stasiun *Accelerograph* di wilayah Lampung

No	Stasiun <i>Accelerograph</i>	Koefisien		
		a	b	c
1	LWLI (Liwa)	-2,351	0,574	2,430
2	KASI (Kota Agung)	-2,522	0,654	2,182
3	BLSI (Bandar Lampung)	-3,243	0,651	4,092
4	KLI (Kotabumi)	-2,746	0,751	2,053

Persamaan umum fungsi atenuasi percepatan gerakan tanah maksimum pada masing-masing stasiun *accelerograph* di wilayah Lampung, yaitu:

1. Stasiun *Accelerograph* LWLI (Liwa)

$$\log_{10}(PGA) = -2,351 \times \log_{10}(R) + 0,574 \times (M) + 2,430 \quad (26)$$

2. Stasiun *Accelerograph* KASI (Kota Agung)

$$\log_{10}(PGA) = -2,522 \times \log_{10}(R) + 0,654 \times (M) + 2,182 \quad (27)$$

3. Stasiun *Accelerograph* BLSI (Bandar Lampung)

$$\log_{10}(PGA) = -3,243 \times \log_{10}(R) + 0,651 \times (M) + 4,092 \quad (28)$$

4. Stasiun *Accelerograph* KLI (Kotabumi)

$$\log_{10}(PGA) = -2,746 \times \log_{10}(R) + 0,751 \times (M) + 2,053 \quad (29)$$

Dimana: PGA : Nilai percepatan tanah maksimum (gal)

Mb : Magnitudo badan

R : Jarak hiposenter (Km)

B. Pembahasan

Berikut ini merupakan pembahasan mengenai tahapan dalam melakukan analisis hasil penelitian, yaitu:

1. Penentuan Fungsi Atenuasi Percepatan Gerakan Tanah Maksimum

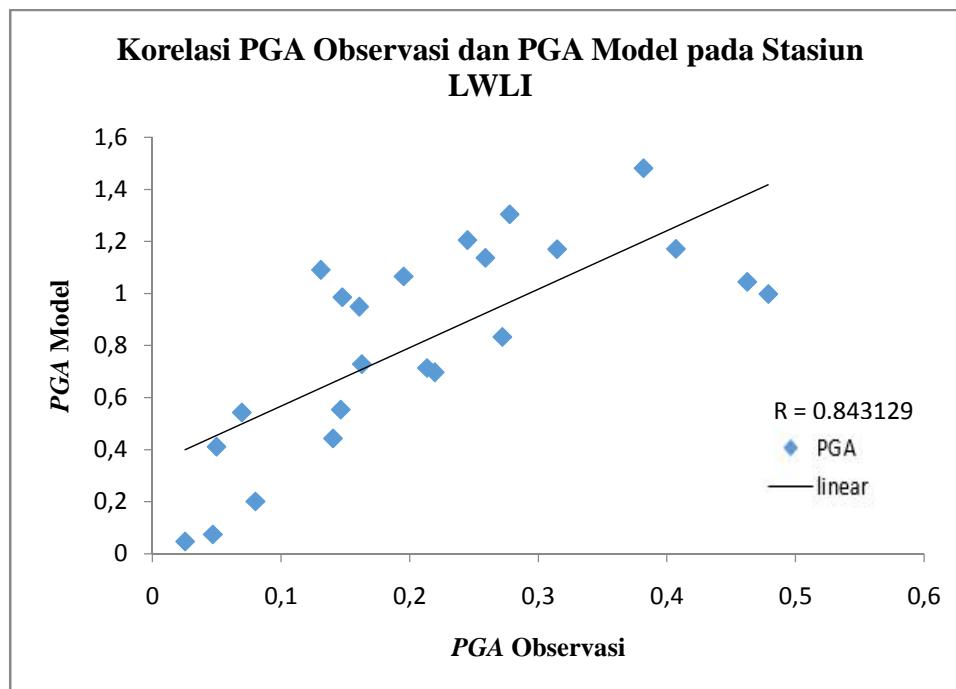
Untuk mendapatkan koefisien fungsi atenuasi percepatan gerakan tanah maksimum, dalam penelitian ini menggunakan data 4 stasiun *accelerograph* BMKG, yaitu stasiun LWLI (Liwa), KASI (Kota Agung), BLSI (Bandar Lampung) dan KLI (Kotabumi) yang berada di wilayah Lampung dan sekitarnya tahun 2008 – 2012 sesuai dengan parameter gempanya, dengan magnitudo >5 Mb.

Melalui perhitungan analisis regresi, maka diperoleh koefisien a , b , dan c untuk fungsi atenuasi percepatan gerakan tanah maksimum pada masing-masing stasiun yang berada di wilayah Lampung. Hasil yang di dapat, yaitu terdapat pada **Tabel 5**.

Hasil perhitungan analisis regresi percepatan gerakan tanah maksimum (PGA) pada stasiun *accelerograph* di wilayah Lampung pada **Tabel 5**, memiliki koefisien a , b , dan c yang berbeda-beda. Hal tersebut terjadi, karena letak sensor *accelerograph* pada wilayah yang berbeda-beda dan memiliki struktur geologi serta tatanan tektonik yang berbeda pula.

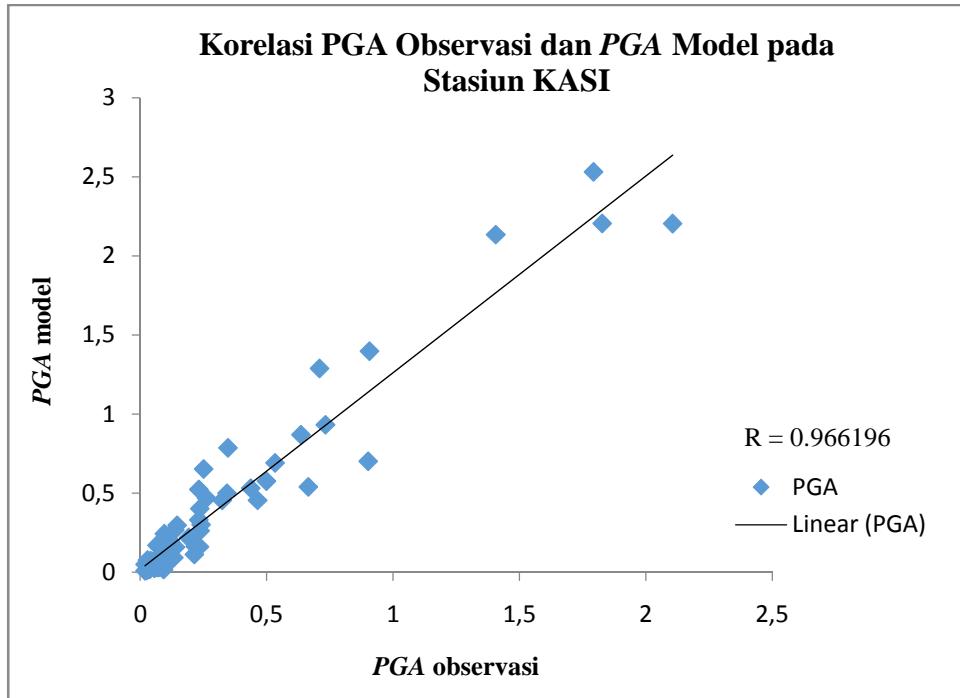
2. Uji Korelasi antara Nilai *PGA* Hasil Perhitungan Persamaan Empiris Modifikasi dan Data Hasil Observasi *Accelerograph*

Setelah memperoleh persamaan modifikasi yang baru, langkah selanjutnya adalah mencoba melakukan validasi dengan cara analisis korelasi untuk melihat tingkat hubungan antara data *PGA* observasi dengan *PGA* model data 2013-2016.



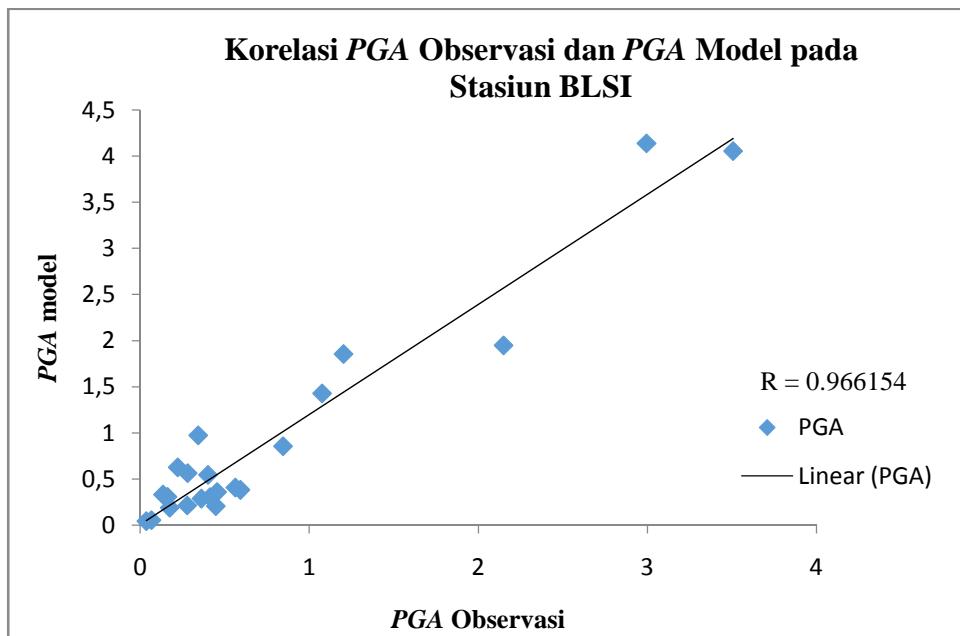
Gambar 11. Korelasi *PGA* Observasi dan *PGA* Model pada Stasiun LWLI

Korelasi *PGA* observasi dan *PGA* model pada stasiun LWLI memiliki nilai korelasi sangat kuat, yaitu 0.843129 dengan *range* *PGA* observasi 0 - 0,5 gal dan *PGA* model 0 - 1,6 gal.



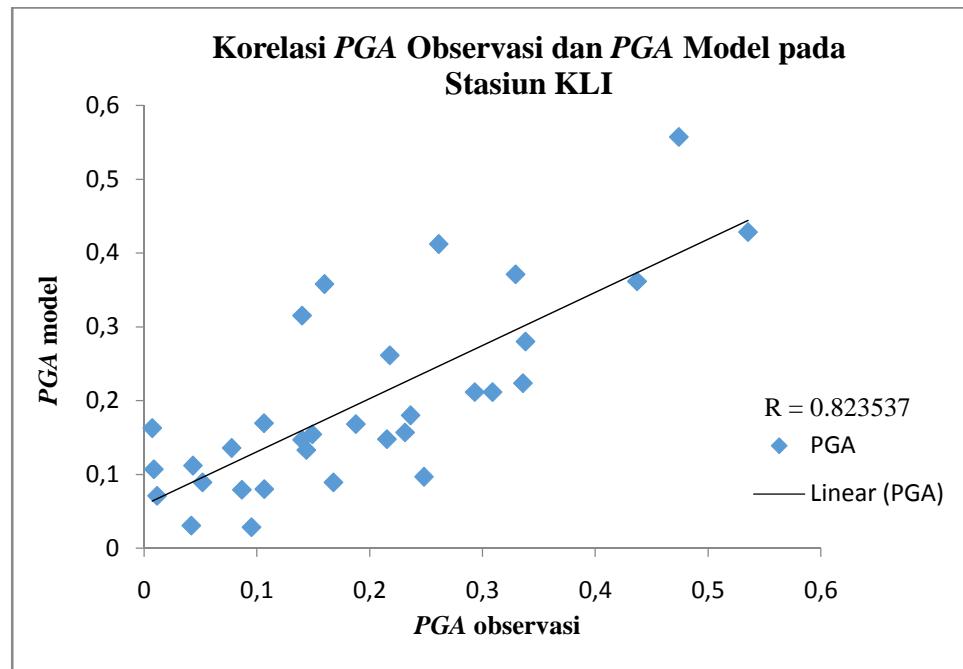
Gambar 12. Korelasi *PGA* Observasi dan *PGA* Model pada Stasiun KASI

Korelasi *PGA* observasi dan *PGA* model pada stasiun KASI memiliki nilai korelasi sangat kuat, yaitu 0.966196 dengan *range* *PGA* observasi 0 - 2,5 gal dan *PGA* model 0 - 3 gal.



Gambar 13. Korelasi *PGA* Observasi dan *PGA* Model pada Stasiun BLSI

Korelasi PGA observasi dan PGA model pada stasiun BLSI memiliki nilai korelasi sangat kuat, yaitu 0.966154 dengan *range* PGA observasi 0 - 4 gal dan PGA model 0 – 4,5 gal.



Gambar 14. Korelasi PGA Observasi dan PGA Model pada Stasiun KLI

Korelasi PGA observasi dan PGA model pada stasiun KLI memiliki nilai korelasi sangat kuat, yaitu 0.823537 dengan *range* PGA observasi 0 – 0,6 gal dan PGA model 0 – 0,6 gal.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Koefisien Korelasi dan Tingkat Hubungan pada Stasiun *Accelerograph*

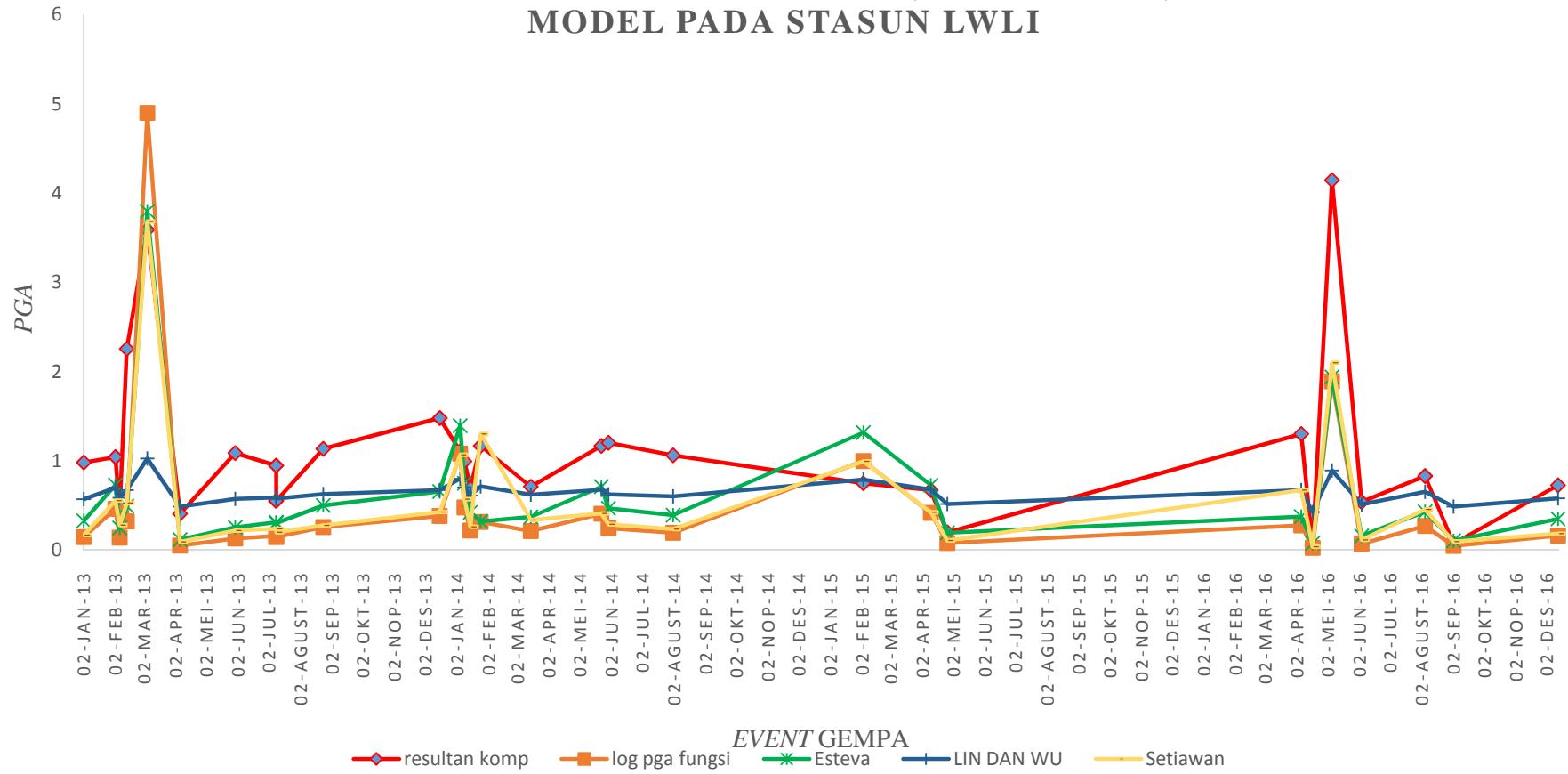
Stasiun	Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
LWLI	0.843129	Sangat Kuat
KASI	0.966196	Sangat Kuat
BLSI	0.966154	Sangat Kuat
KLI	0.823537	Sangat Kuat

Berdasarkan **Tabel 6**, hasil perhitungan koefisien korelasi dan tingkat hubungan pada stasiun *accelerograph* LWLI, KASI, BLSI, KLI menunjukkan tingkat hubungan korelasi yang sangat kuat.

3. Perbandingan antara Nilai *PGA* Hasil Perhitungan Persamaan Empiris Modifikasi dan Persamaan Empiris *PGA* yang Lain serta Data Hasil Perekaman *Accelerograph*

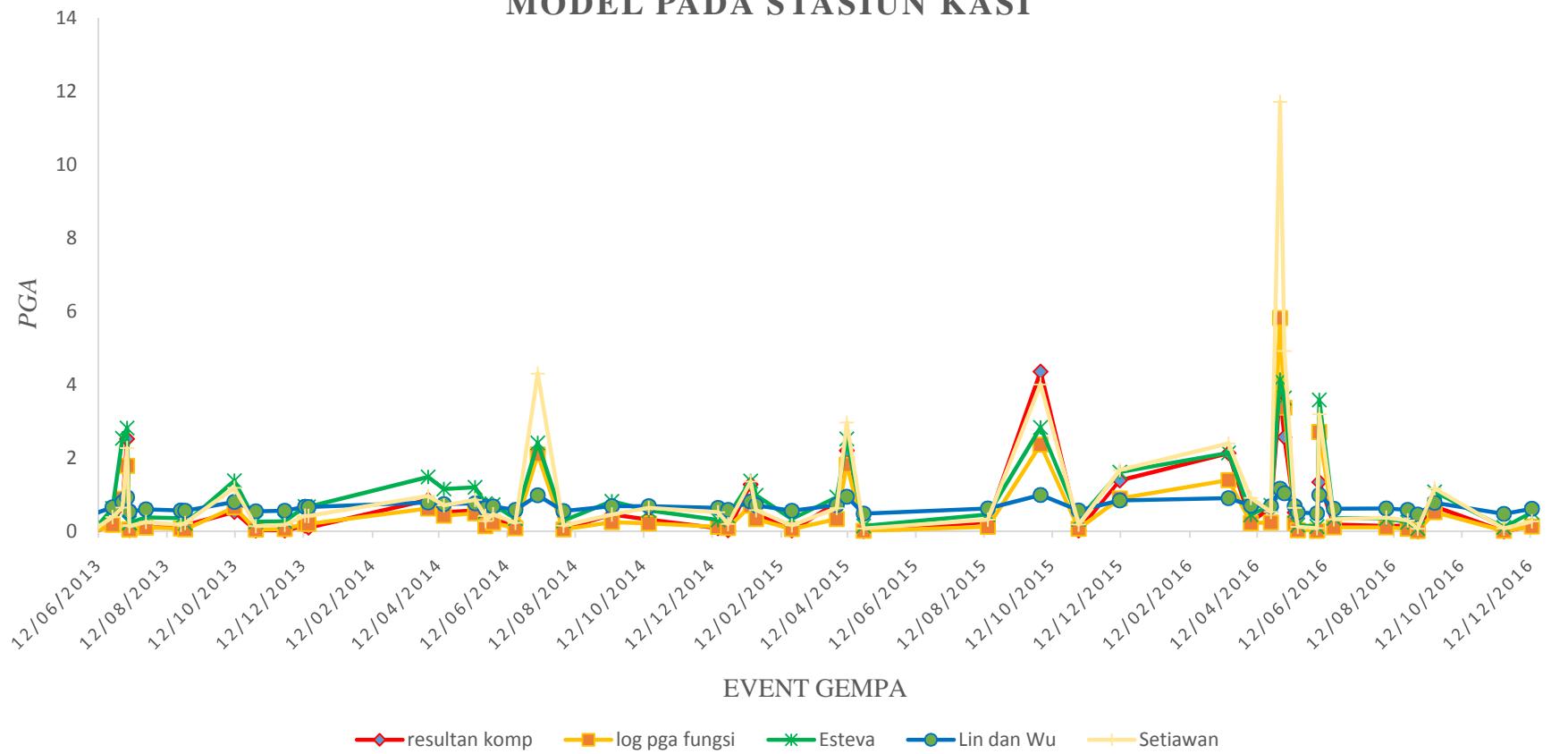
Setelah memperoleh persamaan modifikasi yang baru dan telah dilakukan uji korelasi, selanjutnya adalah mencoba melakukan validasi dengan cara membandingkan hasil perhitungan dari persamaan yang baru dengan data observasi *accelerograph* BMKG dan persamaan empiris lain yang sudah ada, dengan menggunakan data observasi *accelerograph* pada tahun 2013-2016 pada stasiun LWLI, KASI, BLSI dan KLI yang berada di wilayah Lampung.

GRAFIK VERIFIKASI PGA OBSERVASI, PGA FUNGSI, DAN PGA MODEL PADA STASUN LWLI



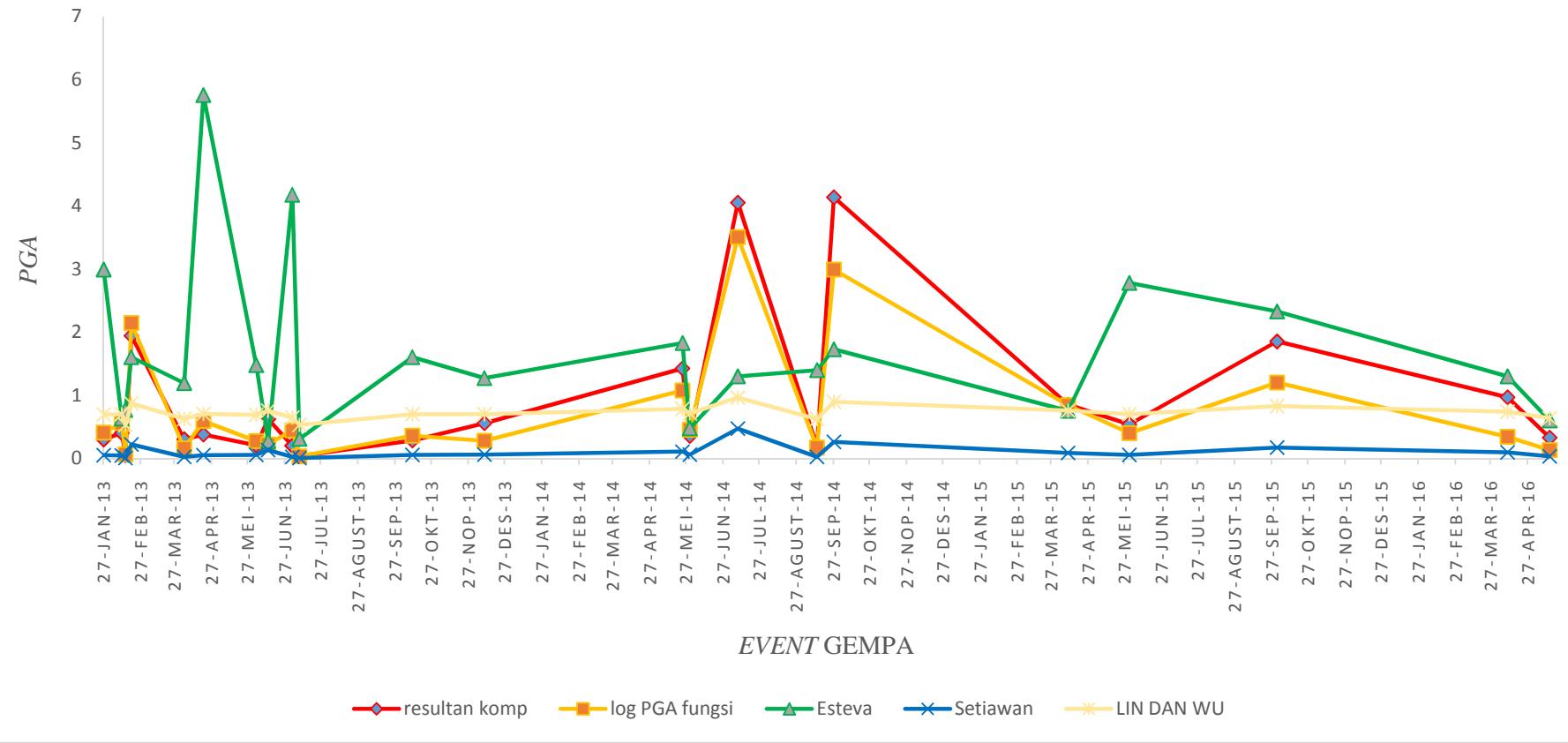
Gambar 15. Grafik Verifikasi PGA Observasi, PGA Fungsi Empiris Lain, dan PGA Model pada Stasiun LWLI

GRAFIK VERIFIKASI *PGA* OBSERVASI, *PGA* FUNGSI DAN *PGA* MODEL PADA STASIUN KASI



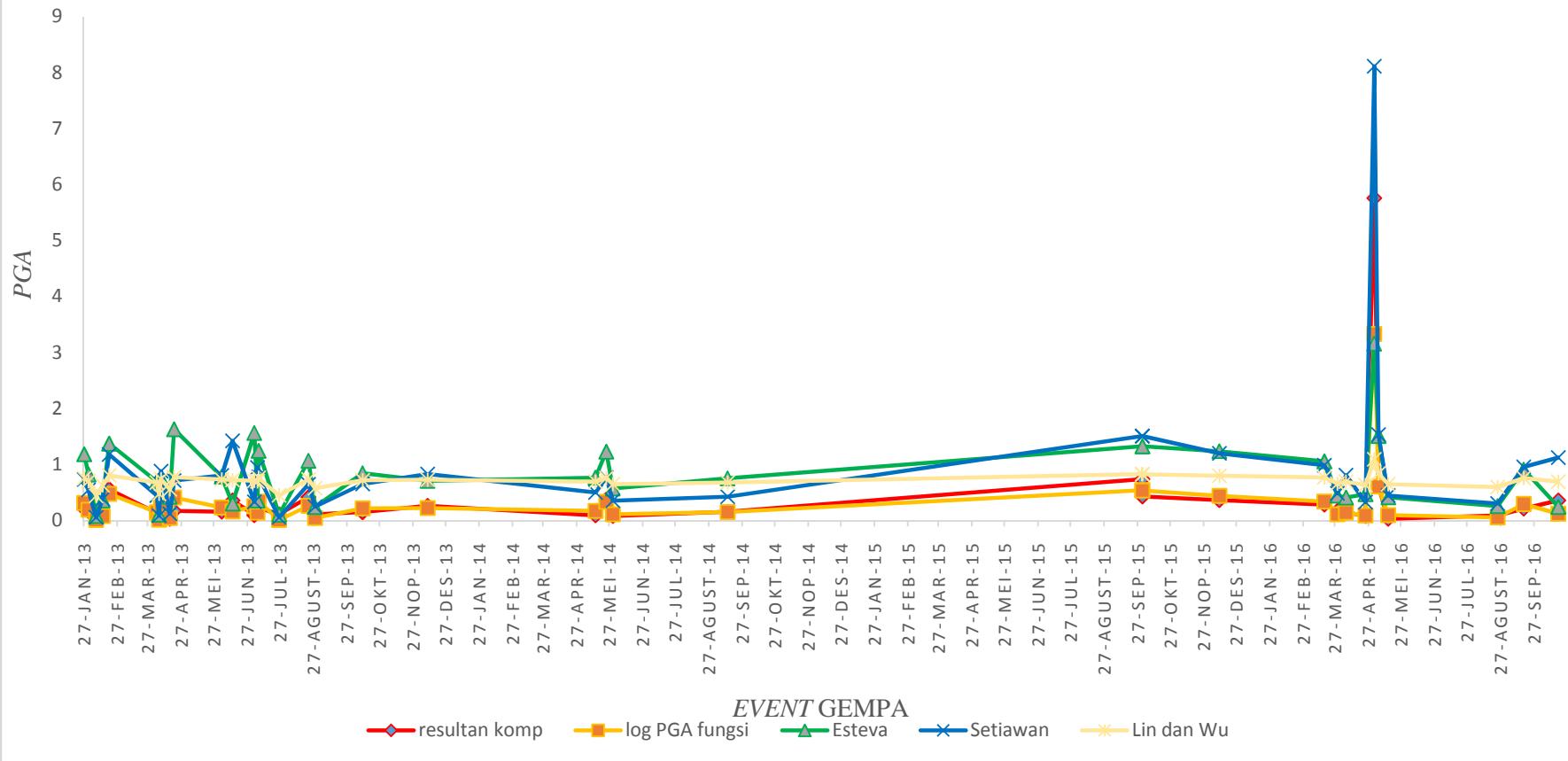
Gambar 16. Grafik Verifikasi *PGA* Observasi, *PGA* Fungsi Empiris Lain, dan *PGA* Model pada Stasiun KASI

GRAFIK VERIFIKASI PGA OBSERVASI, PGA FUNGSI DAN PGA MODEL PADA STASIUN BLSI



Gambar 17. Grafik Verifikasi PGA Observasi, PGA Fungsi Empiris Lain, dan PGA Model pada Stasiun BLSI

GRAFIK VERIFIKASI PGA OBSERVASI, PGA FUNGSI DAN PGA MODEL PADA STASIUN KLI



Gambar 18. Grafik Verifikasi PGA Observasi, PGA Fungsi Empiris Lain, dan PGA Model pada Stasiun LWLI

Gambar 15 merupakan grafik verifikasi data *PGA* observasi, *PGA* fungsi empiris lain dan *PGA* model pada Stasiun LWLI. Data yang digunakan, yaitu sebanyak 83 *event* gempabumi.

Gambar 16 merupakan grafik verifikasi data *PGA* observasi, *PGA* fungsi empiris lain dan *PGA* model pada Stasiun KASI. Data yang digunakan, yaitu sebanyak 68 *event* gempabumi.

Gambar 17 merupakan grafik verifikasi data *PGA* observasi, *PGA* fungsi empiris lain dan *PGA* model pada Stasiun BLSI. Data yang digunakan, yaitu sebanyak 24 *event* gempabumi.

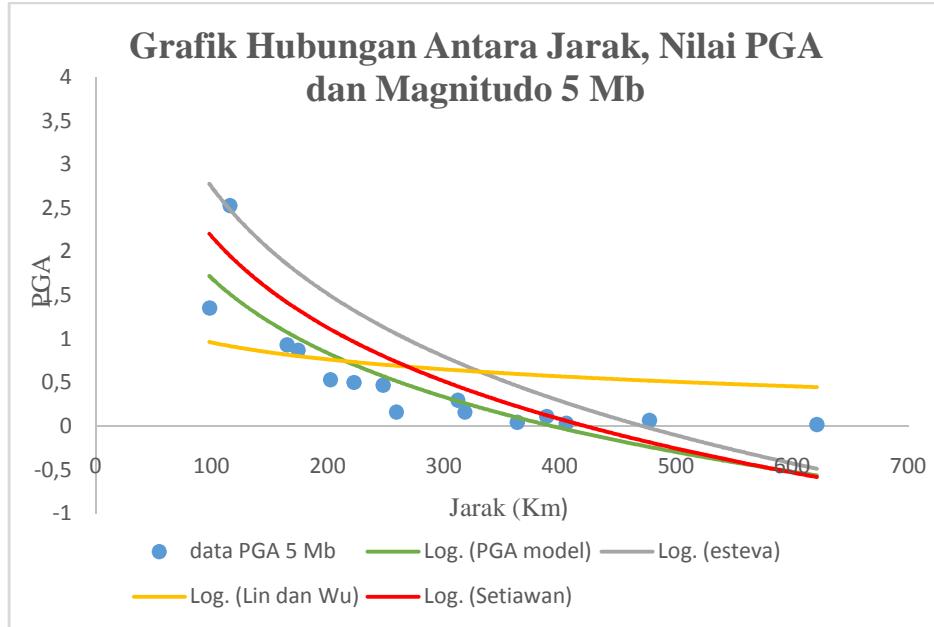
Gambar 18 merupakan grafik verifikasi data *PGA* observasi, *PGA* fungsi empiris lain dan *PGA* model pada Stasiun KLI. Data yang digunakan, yaitu sebanyak 39 *event* gempabumi.

Fungsi empiris *PG*A yang digunakan pada penelitian ini, yaitu menggunakan persamaan empiris Esteva, Setiawan di daerah Bali serta Lin dan Wu di daerah Taiwan. Grafik pada **Gambar 15**, **Gambar 16**, **Gambar 17**, **Gambar 18** tersebut, terlihat bahwa *trendline* hasil perhitungan menggunakan persamaan empiris model memiliki pola mendekati dengan nilai *PGA* observasi, namun *trendline* model juga sangat mendekati dengan *trendline* *PGA* empiris yang digunakan oleh Setiawan di daerah Bali, *trendline* *PGA* empiris yang digunakan oleh Esteva serta *trendline* *PGA* empiris yang Lin dan Wu di daerah Taiwan. Hal tersebut terjadi karna adanya kemiripan tektonik geologi pada area penelitian, dimana terdapat zona subduksi dan patahan lokal di areal penelitian.

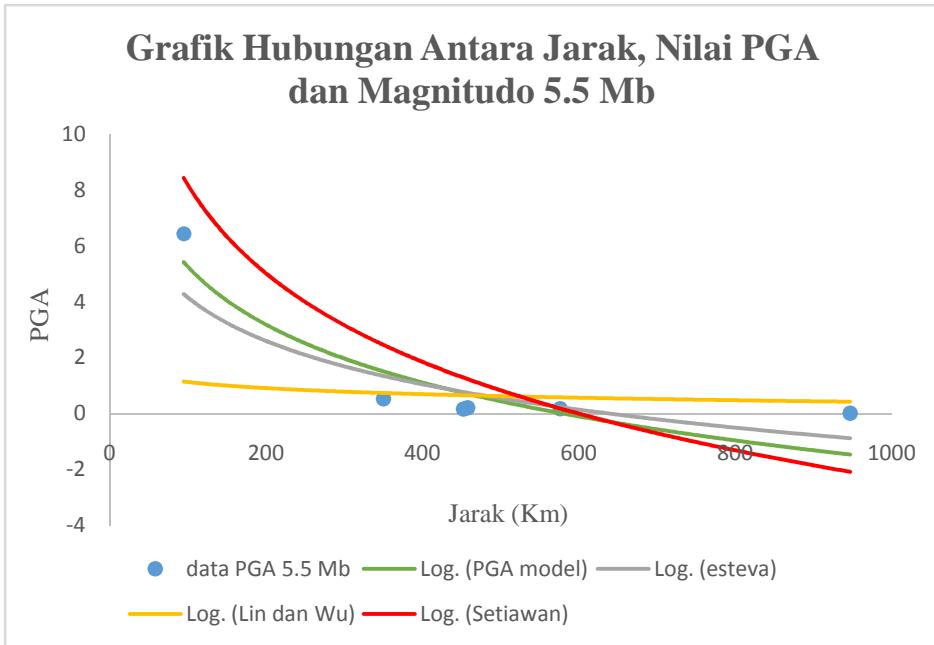
Berdasarkan verifikasi hasil modifikasi persamaan dengan melakukan perbandingan antara nilai *PGA* hasil perhitungan persamaan empiris modifikasi dan persamaan empiris *PGA* yang lain serta data hasil perekaman *accelerograph* LWLI (Liwa), KASI (Kota Agung), BLSI (Bandar Lampung) dan KLI (Kotabumi), *trendline* model yang sangat mendekati *PGA* observasi yaitu pada stasiun *accelerograph* BLSI (Bandar Lampung). Hal tersebut terjadi, karena stasiun *accelerograph* terletak pada zona patahan tektonik dimana memiliki susunan geologi yang kompleks, selain itu juga stasiun *accelerograph* BLSI terletak jauh dari sumber gempabumi, sehingga data yang terekam oleh stasiun ini sangat baik dengan sedikit *noise*.

4. Grafik Hubungan antara Jarak, Nilai *PGA* Hasil Perhitungan Persamaan Empiris Modifikasi dan Persamaan Empiris *PGA* yang Lain serta Data Hasil Perekaman *Accelerograph* dan Magnitudo 5 Mb dan 5,5 Mb

Pada **Gambar 19** dan **Gambar 20** menunjukkan plot hasil model *PGA*, fungsi atenuasi lainnya dengan data *PGA* observasi. Kekuatan gempa yang diwakili adalah 5 Mb dan 5,5 Mb. Untuk gempa 5 Mb terdapat 16 rekaman *accelerograph*. Posisi *accelerograph* yang merekam berjarak lebih dari 116 Km dan kurang dari 476 Km. Untuk gempa 5,5 Mb terdapat 6 rekaman *accelerograph*. Posisi *accelerograph* yang merekam berjarak lebih dari 94 Km dan kurang dari 946 Km.



Gambar 19. Grafik hasil model atenuasi *PGA* dan fungsi atenuasi lainnya, terhadap jarak *accelerograph* untuk magnitudo 5 Mb



Gambar 20. Grafik hasil model atenuasi *PGA* dan fungsi atenuasi lainnya, terhadap jarak *accelerograph* untuk magnitudo 5,5 Mb

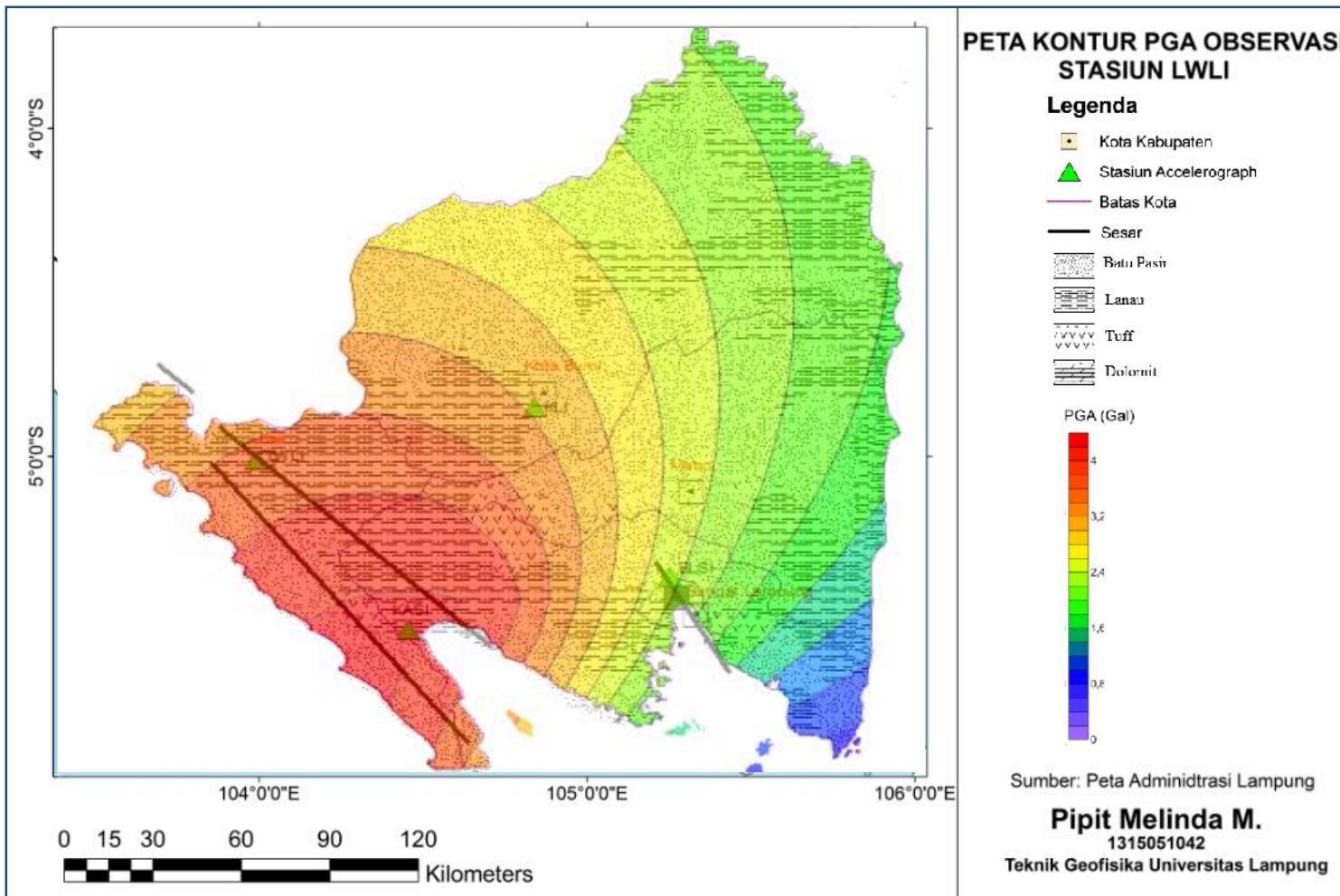
Jika dilihat dari grafik fungsi atenuasinya terlihat bahwa nilai *PGA* menurun baik terhadap jarak magnitudonya, yang membedakan tiap fungsi adalah kemiringan (*slope*). Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh

penggunaan metode formulasi fungsi yang digunakan serta faktor dari geologi di areal penelitiannya yang dapat dilihat dari kesamaan dan kemiripan *trendline* dari model dan fungsi Setiawan, dengan mengadopsi metode formulasi yang sama pada area penelitian yang berbeda.

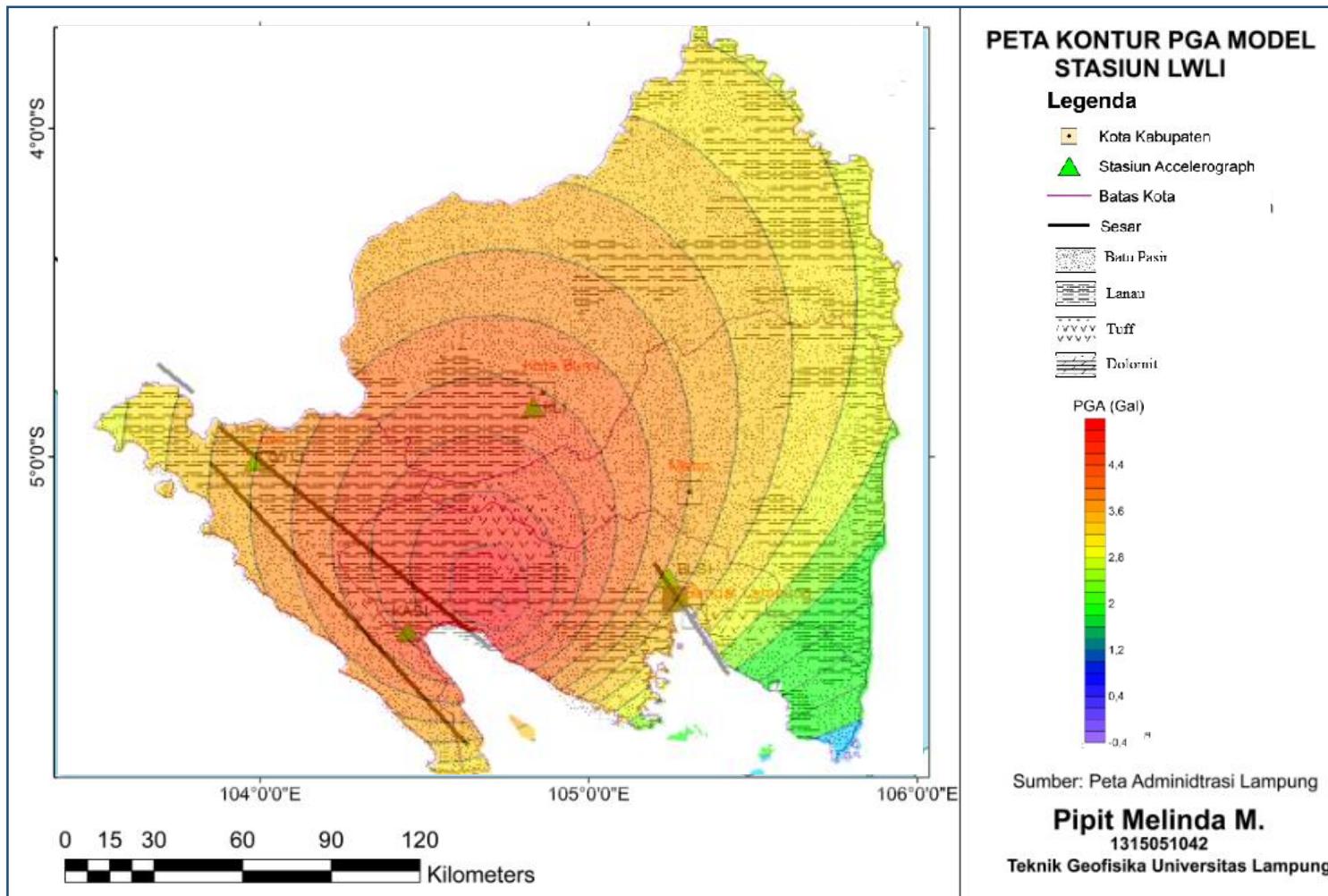
Hasil observasi magnitudo 5 Mb dan 5,5 Mb terlihat bahwa data observasi menyebar dibawah dan diatas *trendline* model. Secara kualitatif antara model dengan data menunjukkan tingkat kecocokkan yang relatif tinggi.

5. Perbandingan antara Peta Kontur *PGA* Observasi dan *PGA* Model pada Stasiun *Accelerograph* LWLI, KASI, BLSI dan KLI

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang hasil model atenuasi pada penelitian ini, maka dibuat peta kontur atenuasi *PGA* hasil model dan membandingkannya dengan peta kontur atenuasi *PGA* observasi pada stasiun *accelerograph* yang berada di wilayah Lampung, yaitu pada stasiun LWLI (Liwa), KASI (Kota Agung), BLSI (Bandar Lampung), KLI (Kotabumi).



Gambar 21. Peta Kontur *PGA* Observasi pada Stasiun LWLI



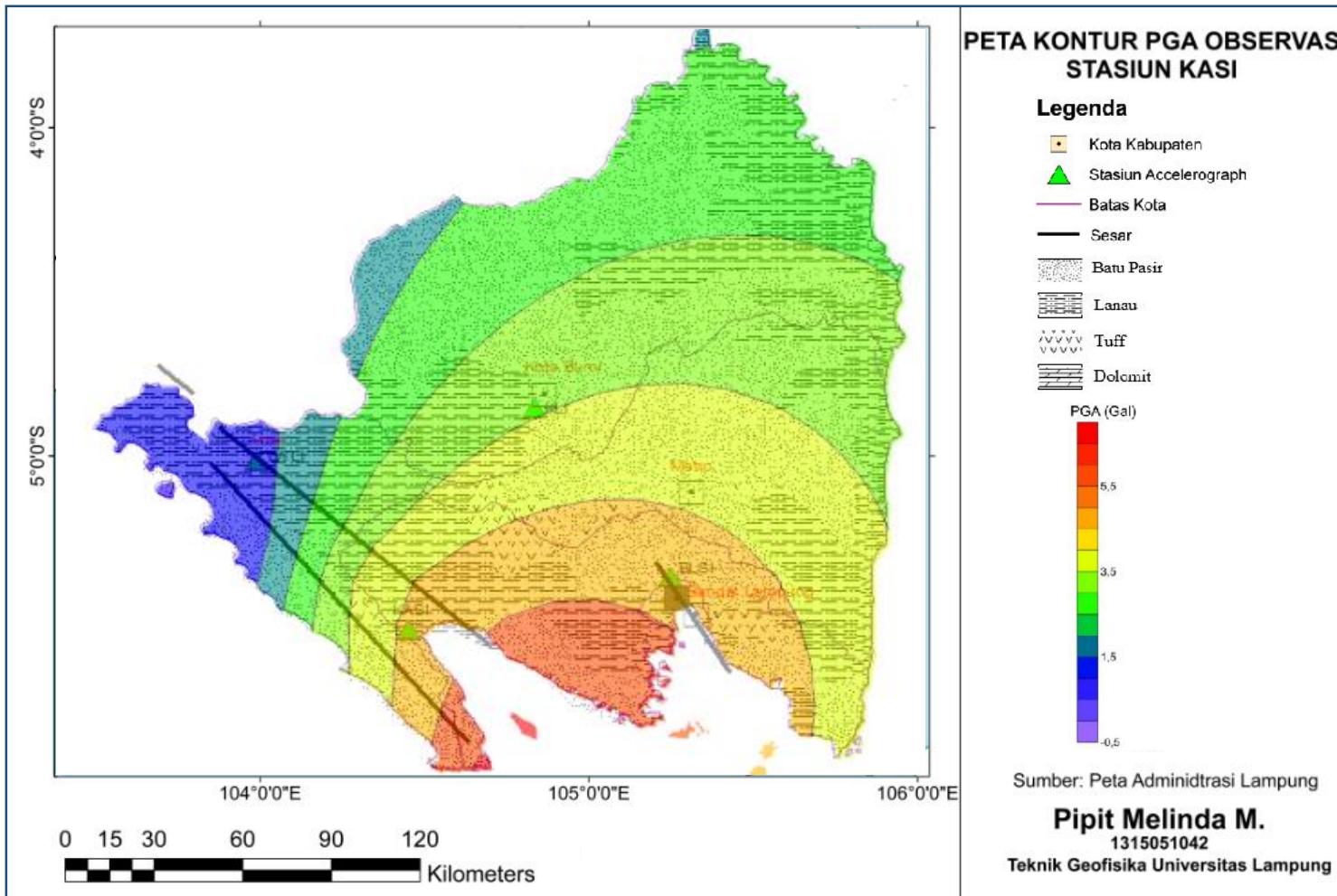
Gambar 22. Peta Kontur PGA Model pada Stasiun LWLI

Gambar 21 merupakan peta kontur *PGA* observasi hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* LWLI (Liwa) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* antara 0 - 4,4 gal. Wilayah Liwa dan Kota Agung memiliki nilai *PGA* yang besar, yaitu 3 – 4,4 gal.

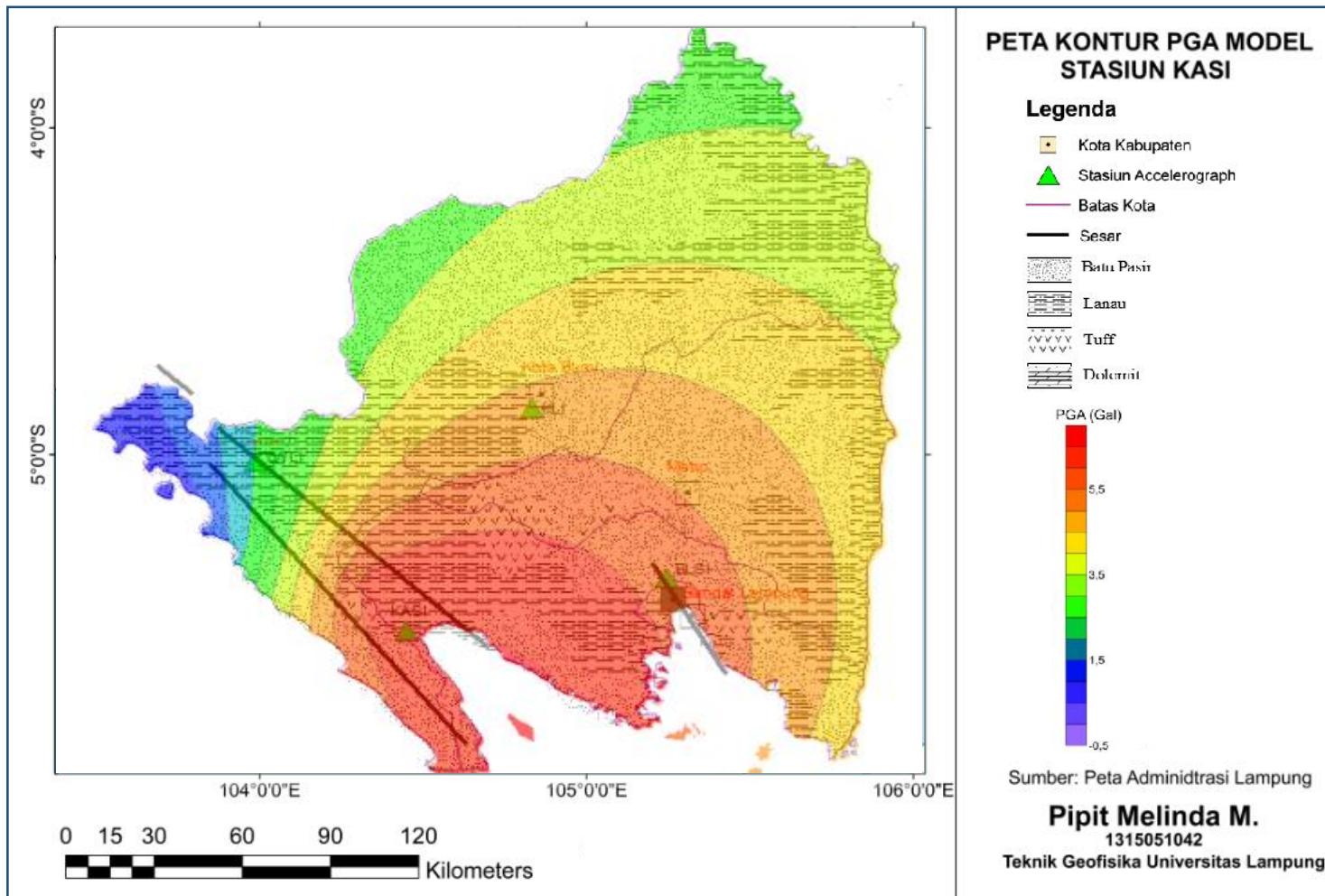
Gambar 22 merupakan peta kontur *PGA* model hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* LWLI (Liwa) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* antara 1 – 5,2 gal.

Morfologi daerah Liwa berupa perbukitan terjal dan bergelombang memiliki lembah yang dalam, dilalui oleh sungai-sungai, serta berada pada ketinggian 500 sampai 1200 mdpl. Stratigrafi daerah Liwa dimulai pada jaman Tersier dan tersusun atas endapan permukaan, batuan sedimen dan gunungapi, serta batuan terobosan. Susunan batuannya adalah Aluvium, Satuan Batu Gamping, Batuan Gunungapi, Kuarter, Formasi Bintuman, Formasi Ranau, Formasi Simpangur, Formasi Lakitan, Formasi Lemau dan Formasi Hulusimpang.

Berdasarkan peta kontur *PGA* observasi dan *PGA* model, peta kontur tersebut memiliki kemiripan kontur dan selisih nilai *PGA* yang tidak jauh berbeda. Perbedaan nilai kontur *PGA* berada pada wilayah Metro dan Kotabumi. Nilai *PGA* pada wilayah ini besar, hal tersebut terjadi karena Liwa masuk dalam bagian punggungan busur belakang dari rangkaian Pegunungan Bukit Barisan yang terbentuk akibat adanya aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Selain dipengaruhi oleh gerak tektonik pada lajur tunjaman, wilayah ini juga dilalui oleh Zona Sesar Sumatera, sehingga kondisi tersebut mengakibatkan Liwa rentan terhadap bencana gempabumi. Sumber gempabumi pada peta kontur tersebut bersumber dari Zona Subduksi dan Patahan Semangko.



Gambar 23. Peta Kontur PGA Observasi pada Stasiun KASI



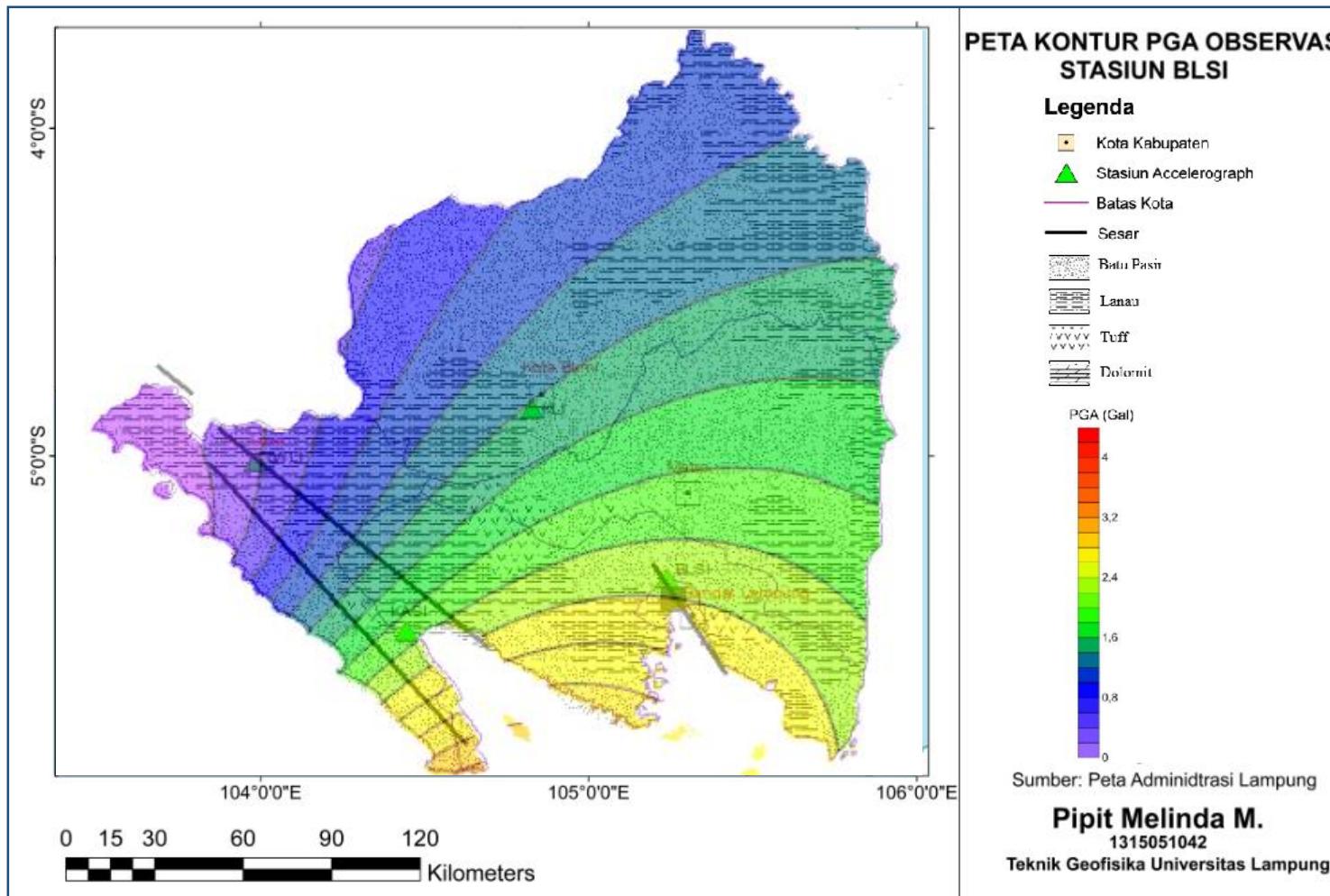
Gambar 24. Peta Kontur PGA Model pada Stasiun KASI

Gambar 23 merupakan peta kontur *PGA* observasi hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* KASI (Kota Agung) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* antara 1-6 gal. Wilayah Kota Agung dan Bandar Lampung memiliki nilai *PGA* yang besar, yaitu 4–6 gal.

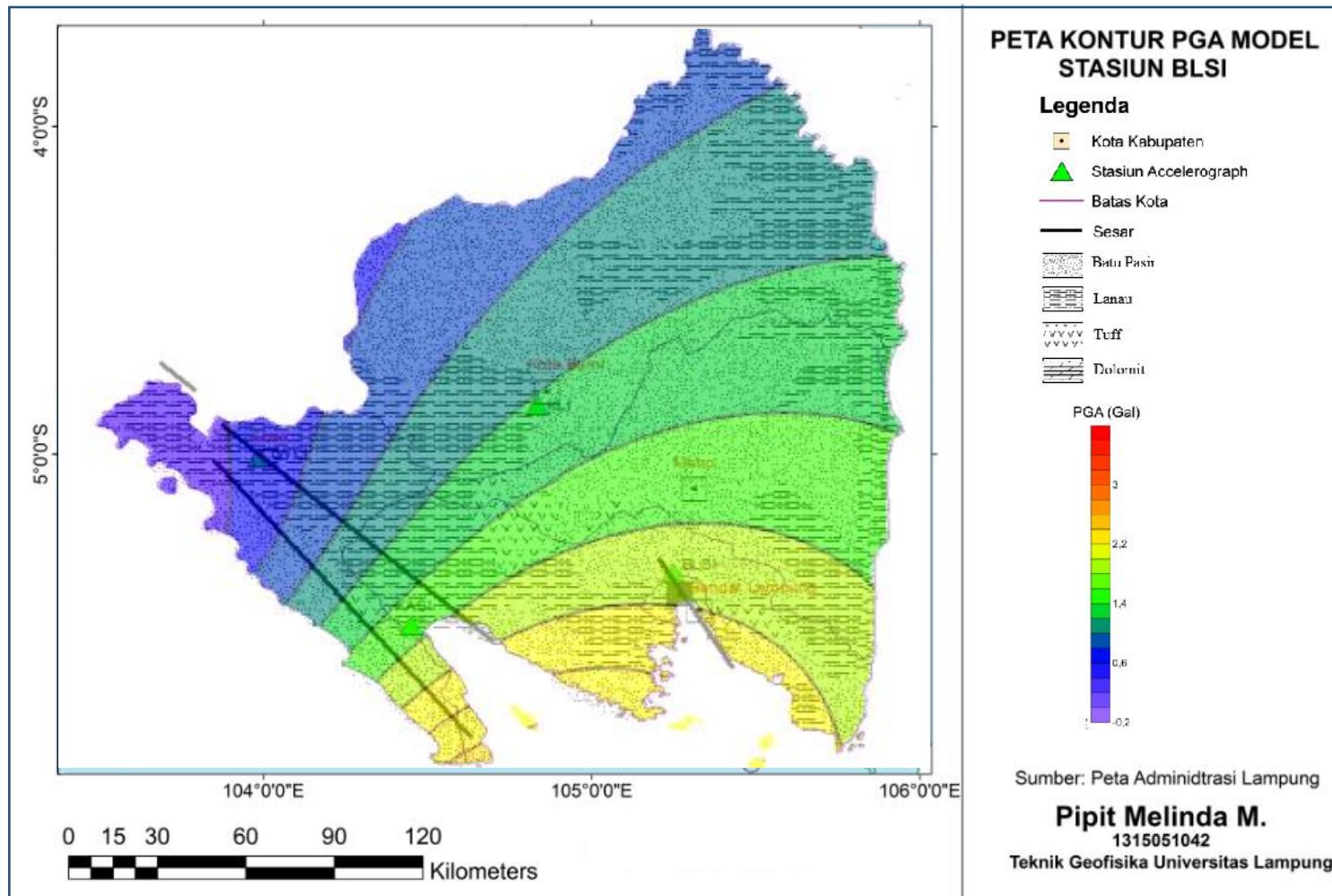
Gambar 24 merupakan peta kontur *PGA* model hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* KASI (Kota Agung) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* antara 1 – 6 gal. Wilayah Kota Agung memiliki nilai *PGA* yang besar, yaitu 4 – 6 gal.

Morfologi daerah Kota Agung secara umum terbagi menjadi 4 unit morfologi, yaitu dataran rendah, perbukitan bergelombang, daerah pegunungan dan kerucut gunungapi. Stratigrafi daerah Kota Agung tersusun atas Aluvium, Satuan Batu gamping, Batuan Gunungapi Kuarter, Formasi Kasai, Formasi Lampung, Formasi Ranau, Formasi Semug, Formasi Katur, Formasi Lemau, Formasi Talangakar, Formasi Gading, Batuan Terobosan, Formasi Tarahan, Granit Kapur, Formasi Menanga dan Komplek Gunung Kasih.

Berdasarkan peta kontur *PGA* observasi dan *PGA* model, peta kontur tersebut memiliki kemiripan kontur dan selisih nilai *PGA* yang tidak jauh berbeda. Perbedaan nilai kontur *PGA* berada pada wilayah Metro dan Kotabumi. Nilai *PGA* pada wilayah Kota Agung besar, hal tersebut terjadi karena sumber gempabumi tersebut berasal dari aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Selain dipengaruhi oleh gerak tektonik pada lajur tunjaman, wilayah ini juga dilalui oleh Zona Sesar Sumatera, sehingga kondisi tersebut mengakibatkan Kota Agung rentan terhadap bencana gempabumi.



Gambar 25. Peta Kontur PGA Observasi pada Stasiun BLSI



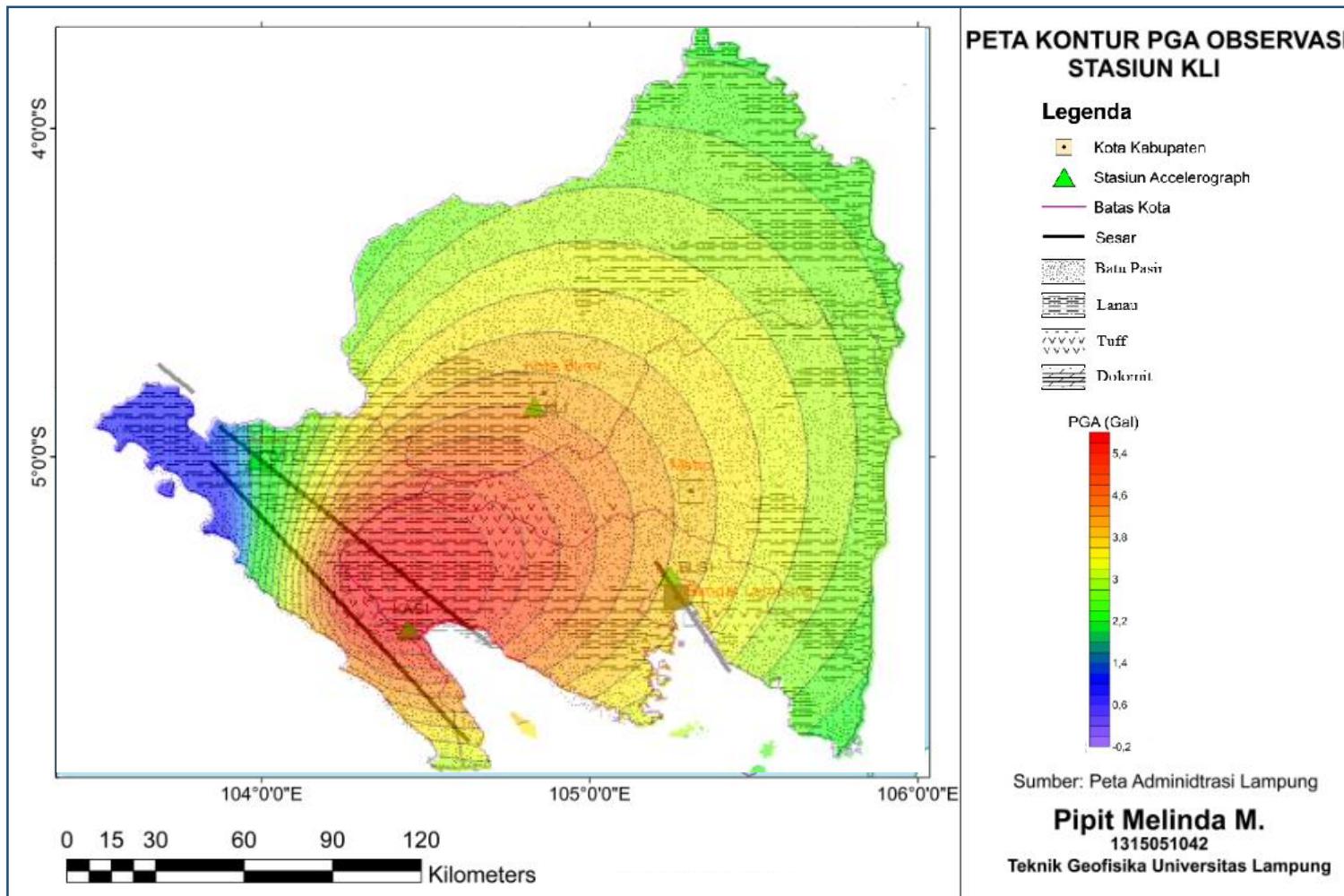
Gambar 26. Peta Kontur PGA Model pada Stasiun BLSI

Gambar 25 merupakan peta kontur *PGA* observasi hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* BLSI (Bandar Lampung) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* antara 0 - 3 gal.

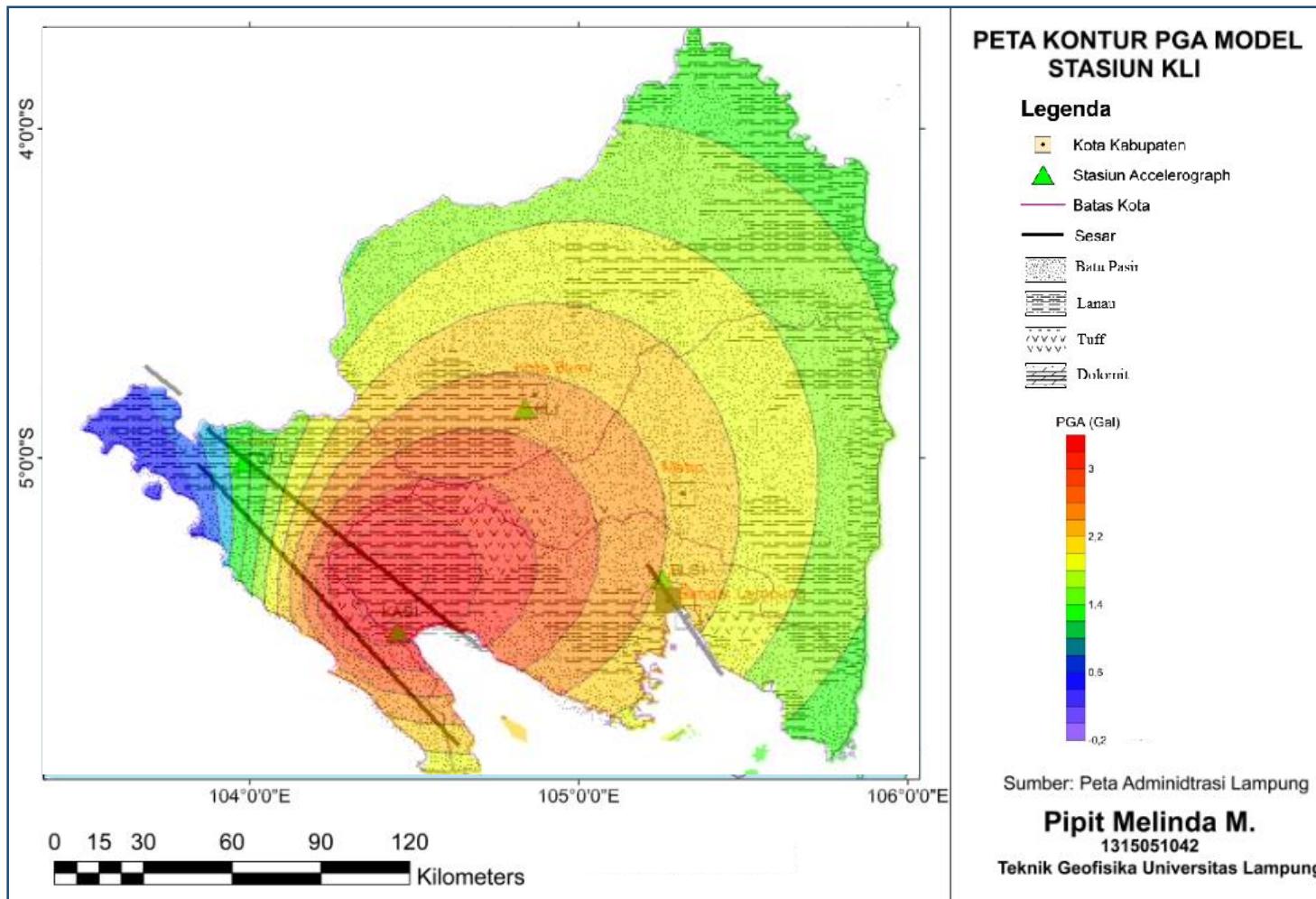
Gambar 26 merupakan peta kontur *PGA* model hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* BLSI (Bandar Lampung) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* 0-2,4 gal.

Morfologi daerah Bandar Lampung secara umum terbagi menjadi 3 unit morfologi, yaitu dataran bergelombang di bagian timur tersusun dari Endapan Vulkanoklastika, Tersier-Kuarter dan Aluvium. Pegunungan kasar di bagian tengah dan baratdaya tersusun oleh batuan beku batuan malihan serta batuan gunung api muda. Daerah pantai berbukit sampai datar berupa lereng-lereng curam. Stratigrafi daerah Bandar Lampung tersusun oleh beberapa formasi batuan yang terbentuk dalam rentang waktu yang berbeda. Formasi Gunung Kasih, Formasi Tarahan, Formasi Lampung dan Gunungapi Muda. Batuan permukaan diwilayah Bandar Lampung bagian selatan dan utara merupakan Formasi Lampung dan Formasi Gunungapi Muda.

Berdasarkan peta kontur *PGA* observasi dan *PGA* model, peta kontur tersebut memiliki kemiripan kontur dan selisih nilai *PGA* yang tidak jauh berbeda. Sumber gempabumi wilayah Bandar Lampung terjadi karena adanya aktivitas patahan Tarahan yang berada di daratan wilayah Bandar Lampung.



Gambar 27. Peta Kontur *PGA* Observasi pada Stasiun KLI



Gambar 28. Peta Kontur PGA Model pada Stasiun KLI

Gambar 27 merupakan peta kontur *PGA* observasi hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* KLI (Kotabumi) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* antara 1,6 – 4,6 gal.

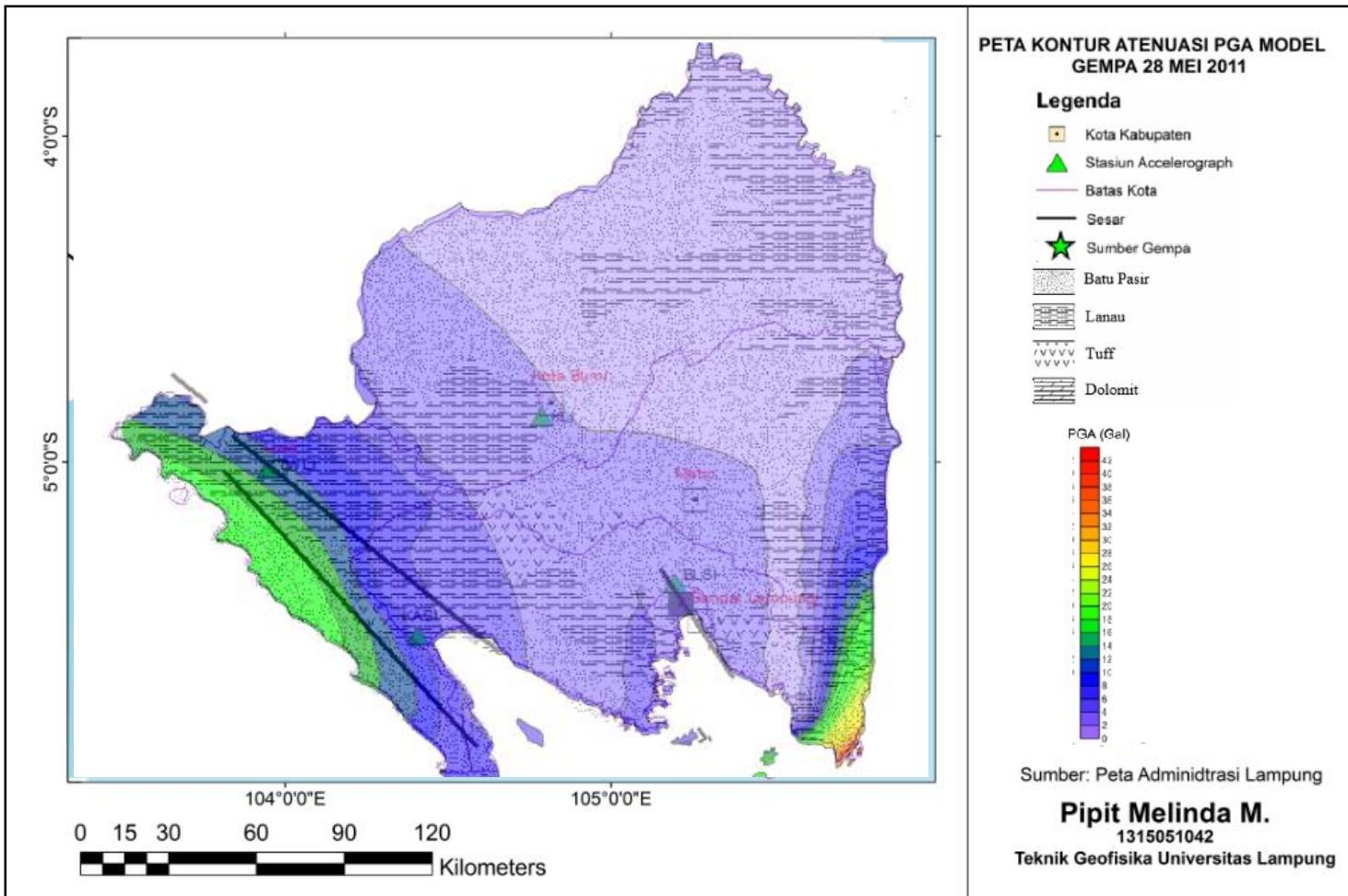
Gambar 28 merupakan peta kontur *PGA* model hasil dari data gempabumi yang terekam oleh stasiun *accelerograph* KLI (Kotabumi) pada tahun 2013-2016. Peta kontur tersebut memiliki nilai *PGA* antara 0,6 – 2,8 gal.

Morfologi daerah Kotabumi berupa dataran bergelombang. Stratigrafi daerah Kotabumi tersusun oleh beberapa formasi batuan yang terbentuk dalam rentang waktu yang berbeda. Formasi Gunung Kasih tersusun oleh Sekis dan Geneis, Formasi Tarahan tersusun oleh Tufa Padu, Breksi dan Sisipan Rijang, Formasi Lampung dan Gunungapi Muda.

Berdasarkan peta kontur *PGA* observasi dan *PGA* model pada **Gambar 27** dan **Gambar 28**, peta kontur tersebut memiliki kemiripan kontur dan selisih nilai *PGA* yang tidak jauh berbeda. Sumber gempabumi pada peta kontur tersebut bersumber dari Zona Subduksi dan Patahan Semangko.

6. Hasil Nilai Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik pada Suatu *Event* Gempa

Untuk memberikan gambaran kondisi bahaya gempabumi, maka dalam penelitian ini menggunakan fungsi atenuasi yang diperoleh serta data historis gempabumi di wilayah Lampung tahun 2008-2016, dengan mengambil suatu *event* gempa, yaitu gempa pada tanggal 28 Mei 2011.



Gambar 29. Peta Kontur Atenuasi PGA Model Gempa 28 Mei 2011

Peta kontur *PGA* maksimum untuk daerah Lampung tersebut pada **Gambar 29**, terlihat bahwa *PGA* maksimum berada di wilayah Liwa (Lampung Barat). Hal ini tersebut terjadi, karena *event* gempa bersumber di wilayah laut bagian barat (Samudra Hindia). Gempabumi di laut berkaitan erat dengan aktivitas penunjaman lempeng Indo-australia dengan lempeng Eurasia. Gempa tersebut berada pada kedalaman 42 Km dan termasuk dalam golongan gempa dangkal, sehingga tidak merusak wilayah Lampung bagian utara. Gempabumi dengan kedalaman dangkal merupakan gempabumi yang terjadi pada Zona Megathrust.

Berdasarkan peta kontur atenuasi *PGA* model pada suatu *event* gempa pada tanggal 28 Mei 2011, nilai *PGA* besar terdapat pada wilayah Liwa dengan nilai *PGA* 10-20 gal dan wilayah Lampung bagian timur dengan nilai *PGA* 10-34 gal.

Untuk memberikan penjelasan lebih baik dalam memahami efek kerusakan dan efek guncangan terasa akibat gempabumi, maka dicoba untuk membuat peta kontur intensitas seismik berdasarkan hasil *PGA* model pada *event* gempabumi tanggal 28 Mei 2011 dengan magnitudo 6,1 Mb. Konversi nilai intensitas seismik (MMI) dari nilai *PGA* berdasarkan perumusan Murphy & O'Brien (1977):

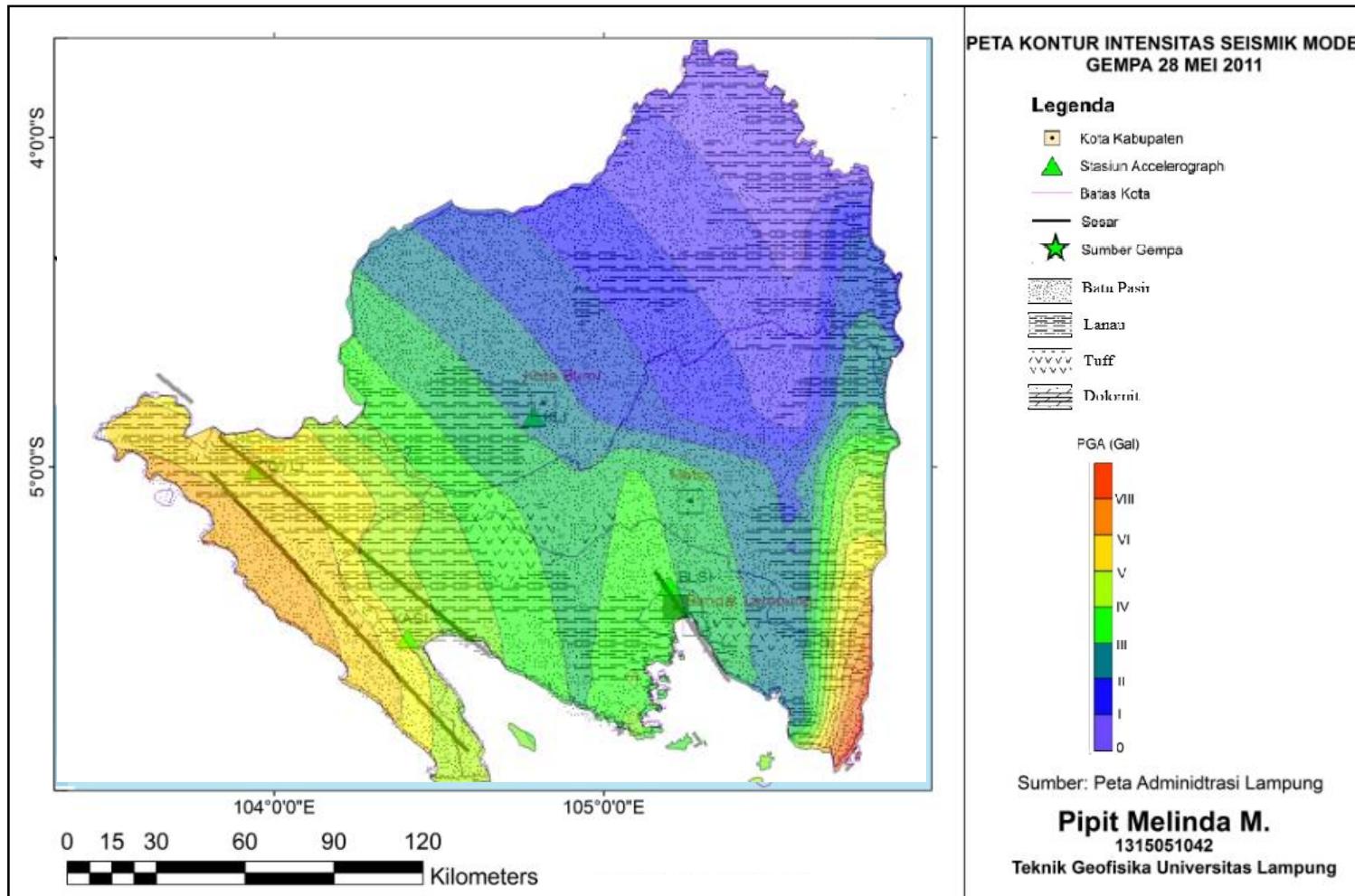
$$\log(PGA) = 0,25 I_{MM} + 0,25 \quad (30)$$

Diperoleh :

$$I_{MM} = 4 \log(PGA) - 1 \quad (31)$$

Dimana : I_{MM} = intensitas seismik (MMI)

PGA = percepatan tanah maksimum (gal)



Gambar 30. Peta Kontur Intensitas Seismik Model Gempa 28 Mei 2011

Berdasarkan peta kontur intensitas seismik model pada suatu *event* gempabumi 28 Mei 2011 pada **Gambar 30**, terlihat bahwa wilayah Liwa memiliki nilai intensitas seismik V - VI MMI, wilayah Kota Agung memiliki nilai intensitas seismik III - V MMI, wilayah Kotabumi memiliki nilai intensitas seismik I - III MMI, dan wilayah Bandar Lampung memiliki nilai intensitas seismik III MMI. Wilayah Liwa memiliki nilai intensitas seismik besar, karena wilayah Liwa berdekatan dengan sumber gempabumi.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Fungsi atenuasi dari penelitian ini tergolong relatif baik berdasarkan grafik perbandingan dengan hasil observasi dan metode fungsi atenuasi lainnya. Diperoleh fungsi atenuasi *PGA* pada Stasiun *accelerograph* wilayah Lampung sebagai berikut :
 - Stasiun *Accelerograph* LWLI (Liwa)
$$\log_{10}(PGA) = -2,351 x \log_{10}(R) + 0,574 x (M) + 2,430$$
 - Stasiun *Accelerograph* KASI (Kota Agung)
$$\log_{10}(PGA) = -2,522 x \log_{10}(R) + 0,654 x (M) + 2,182$$
 - Stasiun *Accelerograph* BLSI (Bandar Lampung)
$$\log_{10}(PGA) = -3,243 x \log_{10}(R) + 0,651 x (M) + 4,092$$
 - Stasiun *Accelerograph* KLI (Kotabumi)
$$\log_{10}(PGA) = -2,746 x \log_{10}(R) + 0,751 x (M) + 2,053$$
2. Berdasarkan peta kontur atenuasi *PGA* model pada suatu *event* gempa tanggal 28 Mei 2011, wilayah Liwa memiliki nilai *PGA* besar, yaitu 10-20 gal serta nilai intensitas seismiknya yaitu V-VI MMI. Hal tersebut terjadi karena sumber gempabumi berada di laut bagian barat Liwa.

5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan akurasi model atenuasi percepatan tanah ini diperlukan data observasi yang banyak, untuk ini maka perlu adanya peningkatan jaringan *accelerometer*, dengan dukungan akurasi alat yang baik
2. Pada kenyataannya, kondisi geologi sangat mempengaruhi nilai *PGA*, maka perlu memperhitungkan kondisi geologi lokal, untuk memperbaiki hasil perhitungan nilai *PGA* lokal.
3. Perhitungan *PGA* perlu di lengkapi data rinci percepatan *HVSR* dan f_o untuk menghasilkan zonasi secara aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi., 2015. Wilayah Potensi Gerakan Tanah Di Provinsi Sumatera Barat Bulan Agustus 2015. *Laporan Penelitian PVMBG*. Bandung
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, 2017. *Indeks Seismisitas Wilayah Lampung*. BMKG
- Boore, D.M., dan Atkinson, G.M., 2008. Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Journal Earthquake Spectra* Volume 24, nomor 1.
- Brotopuspito, K.S., Tiar dan Ferry, M.W., 2006. Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943-2006, *Jurnal Geofisika* 2006, Vol 1 p 19-22.
- Borman, P., 2002. *IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP)*. Geo Forschungs Zentrum Postdam (GFZ). Germany.
- Diyanti, M. F., 2010. *Penentuan Formula Empiris Percepatan Tanah di Zona Gempa Tasikmalaya Tanggal 2 September 2009*. Skripsi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UIN Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Douglas, J., 2011. *Ground-motion Prediction Equations 1964–2010. PEER Report 2011/102*. Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley
- Edwiza, D., 2008. *Analisis Terhadap Intensitas da Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar*. Laboratorium Geofisika Jurusan Teknik Sipil Unad, No.29, Vol. 1.
- Fukushima, Y., dan Tanaka, T., 1990. A New Attenuation Relation For Peak Horizontal Acceleration Of Strong Earthquake Ground Motion In Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80 (4), 757–783.

- Grandis, H., 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI)
- Gumuntur, E., 2008. Peta Administrasi Provinsi Lampung. *Bahan diklat geografi regional*. Lampung
- Irsyam, M.D., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono., Asrurifak, M. dan Ridwan, M., 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempabumi Indonsia 2010*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Ibrahim, G., dan Subardjo, 2004. *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Lin dan Wu, 2010. Magnitude Determination Using Strong Ground Motion Attenuation in Earthquake Early Warning. *Journal Geophysical Research Letters*, Vol.37, L07304
- Mangga, S.A., Amirudin, T., Suwarti, S., dan Sidarto, 1993. *Peta Geologi Lampung, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Massinai, M., Altin, V., Ismullah, M., dan Fawzy., 2016. Analisis Percepatan Tanah Maksimum, Kecepatan Tanah Maksimum dan MMI di Wilayah Sulawesi Utara. *Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016* Vol. V, Oktober 2016
- McGuire, R. K., 1977. *Seismic Design Spectra And Mapping Procedures Using Hazard Analysis Based Directly On Oscillator Response*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 5, 211–234.
- Mulyatno, B. S., dan Suharno, 2007. Analisis Atenuasi Energi Gempabumi Terhadap Medium Batuan Daerah Lampung Berdasarkan Data Gempabumi Tahun 2003-2005. *Jurnal Sains MIPA*, Edisi 2007, Vol. 13, No. 3, Hal: 257-260
- Natawidjaja, D.H., Kertapati, E.K., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., 2010. *Ringkasan hasil studi tim revisi peta gempa Indonesia 2010*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Naryanto, H.S., 2007. Kajian Potensi dan Kegempaan di Liwa Kaitannya dengan Patahan Sumatera untuk Penataan Kawasan Berkelanjutan. *Jurnal Alami*, Vol. 12 No. 2 Tahun 2007, BPPT-HSF, Jakarta
- Naryanto, H. S., 2008. Analisis Potensi Kegempaan dan Tsunami Kawasan Pantai Barat Lampung Kaitanya dengan Mitigasi dan Penataan Kawasan. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* Vol. 10 No. 2 Agustus 2008 Hal. 71-77

- Prasetyo, A.D., Marjiyono, S., dan Asdani., 2013. Studi Sesar Aktif Peterjajar daerah Bakauheni, Lampung Selatan. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 4 No.1 April 2013: 15:31
- Refrizon., Hadi, A.I., Lestari, K., dan Oktari, T., 2013. Analisis Percepatan Gerakan Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Bengkulu, *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*.
- Sativa, O., 2015. Accelerograph BMKG. *Bahan diklat seismotek BMKG*. Jakarta.
- Santoso, D., 2002. *Pengantar teknik Geofisika*. ITB. Bandung.
- Sarwono, 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sieh, K. dan Natawidjaja, D., 2000. Neotectonics of Sumatera Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research* Vol. 105, 28, 295-28, 326.
- Setiawan, A. Y., 2012. *Kajian Rumus empiris Percepatan Tanah Di Daerah Bali Dan Sekitarnya*, Program Sarjana di Program Studi Meteorologi Institut Teknologi Bandung
- Subardjo, 2008. Parameter Gempabumi. *Materi diklat teknis peningkatan kemampuan observasi Geofisika tahun 2008*. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Suharno, 2000. Distribusi dan Klasifikasi Resiko Gempa Daerah Lampung dan Sekitarnya. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, Vol. 2, No. 1, Tahun 2007.
- Sukmono, S., 1997. *Analisis Fraktal Mekanika Kegempaan Sistem Sesar Sumatera*, Disertasi S-3, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sulaiman, I., 1989. *Pendahuluan Seismologi I*, Badan Diklat Meteorologi dan Geofisika, Jakarta
- Supartoyo., Putranto. E.T., dan Surono., 2014. *Katalog Gempa Bumi Merusak di Indonesia Tahun 1962-2014*. Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.