TESIS

RESPON SEISMIK PROVINSI JAWA TENGAH BERDASARKAN *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS* ANALISIS: PETA, FAKTOR SITUS DAN AMPLIFIKASI

(SEISMIC RESPONSE OF CENTRAL JAVA PROVINCE BASED ON PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS ANALYSIS: MAP, SITE FACTORS AND AMPLIFICATION)



Disusun oleh :
DWI RETNO ASTUTIK, ST.
NIM : 19914045

KONSENTRASI MANAJEMEN REKAYASA KEGEMPAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

RESPON SEISMIK PROVINSI JAWA TENGAH BERDASARKAN *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS* ANALISIS: PETA, FAKTOR SITUS DAN AMPLIFIKASI

(SEISMIC RESPONSE OF CENTRAL JAVA PROVINCE BASED ON PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS ANALYSIS: MAP, SITE FACTORS AND AMPLIFICATION)

Disusun oleh :

DWI RETNO ASTUTIK, S.T

NIM : 19914045

Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.
Dosen Pembimbing I

Tanggal: 31/8/2022

Dr. Ir. Lalu Makrup, MT.
Dosen Pembimbing II

Tanggal: 22/08/2022

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

RESPON SEISMIK PROVINSI JAWA TENGAH BERDASARKAN *PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS* ANALISIS: PETA, FAKTOR SITUS DAN AMPLIFIKASI

(SEISMIC RESPONSE OF CENTRAL JAVA PROVINCE BASED ON PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS ANALYSIS: MAP, SITE FACTORS AND AMPLIFICATION)

Disusun oleh :

DWI RETNO ASTUTIK, S.T

NIM : 19914045

Telah diuji di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 5 Agustus 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I,	Dosen Pembimbing II,	Dosen Penguji,
(Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.)	(Dr. Ir. Lalu Makrup, MT.)	(Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D. AU.)

Yogyakarta,

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil Program Magister

Ketua Jurusan Teknik Sipil,

(Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D.)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program "*Software*" komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 31 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



DWI RETNO A, S.T

NIM : 19914045

KATA PENGANTAR

Allhamdulillahhirrabila'lamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena penulis dapat meyelesaikan tesis yang berjudul "Respon Seismik Provinsi Jawa Tengah Berdasarkan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* Analisis: Peta, Faktor Situs, dan Amplifikasi". Dalam penyusunan tesis ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdullilah tesis ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang Sebesar-besarnya kepada beberapa pihak diantaranya sebagai berikut:

1. Bapak Prof. Ir. Widodo, MSCE, Ph.D. Selaku dosen pembimbing I, terima kasih banyak telah memberikan bimbingan, waktu, nasehat, saran serta pengajaran yang diberikan pada penulis selama melakukan penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, MT. Selaku dosen pembimbing II, terima kasih banyak telah memberikan bimbingan, waktu, nasehat, saran serta pengajaran yang diberikan pada penulis selama melakukan penelitian ini.
3. Bapak Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D, AU. sebagai dosen penguji, selaku dosen penguji yang telah memberi masukan dan penilaian yang bermanfaat untuk kesempurnaan tesis ini.
4. Seluruh dosen pengajar, laboran, asisten serta staff dan karyawan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak ilmu serta memfasilitasi saya selama masa kuliah.
5. Bapak dan ibu saya, Bapak H. Murdiono dan Ibu Hj. Sri Nurkhayati yang selalu memberikan doa, dukungan serta semangat tiada henti hingga selesainnya penelitian tesis ini. Terima kasih atas semua kasih sayang, doa dan kesabaran dalam mendidik dan membesarkan saya hingga sekarang.
6. Kakak saya, Yuniati Eka L, S.Kep Ns, Alfalah Firdaus L, S.Tr.Pel dan Fajar Dadiono, S.T yang selalu memberikan doa, dukungan serta semangat tiada henti hingga selesainnya penelitian tesis ini.
7. Teman-teman Program Pascasarjana Teknik Rekayasa Gempa dan Manajemen Kebencanaanangkatan 2019 yang senantiasa membantu dan memberi dukungan dalam pengerjaan tesis ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Saya ucapkan terima

kasih sebesar-besrnya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam tesis ini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan. Semoga karya ini dapat memberi manfaat dan memberikan sumbangan bagi kemajuan ilmu pengetahuan pada umumnya.

Yogyakarta, Juli 2022

Penulis,

Dwi Retno A, S.T

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xiii
ABSTRAK xvi
ABSTRACK xvii
LAMPIRAN xl
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 5
1.3. Tujuan Penelitian 5
1.4. Batasan Penelitian 5
1.5. Manfaat Penelitian 6
1.4. Definisi Operasional 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1. Abdul Latif A, *et al* (2015) 9
2.2. Asrurufak, *et al* (2012) 10
2.3. Arifin Jaya, *et al* (2020) 11
2.4. Muhaimin, *et al* (2016) 12
2.5. Jimmi Nugraha, et al (2013) 14
2.6. Urip Nurwijayanto, *et al* (2018) 15
2.7. Windu Partono, *et al* (2018) 15
2.8. Teguh M, *et al* (2011) 15
2.9. Keaslian Penulisan 15
BAB III LANDASAN TEORI 17
3.1. Teori Lempeng Tektonik 17
3.1.1.Teori Continental Drift 18
3.1.2. Gambaran Kondisi Tektonik Indonesia 19

3.1.3. *Shallow Crustal Fault* di Pulau Jawa 20
3.1.4. Kondisi Geologi Jawa Tengah 23
3.2 Penyebab Terjadinya Gempa 24
3.2.1 Klasifikasi Gempa 25
3.2.2 Magnitude Gempa 26
3.3 Intensitas Gempa 28
3.4 Identifikasi Sumber Gempa 28
3.5 Pemodelan Sumber Gempa 30
3.6 Karakteristik Sumber Gempa 30
3.6.1 Magnitude Maksimum 32
3.6.2 Penentuan Parameter berdasarkan Slip Rate 33
3.6.3 Annual rate dan b-Value 33
3.7 Fungsi Atenuasi 34
3.8 *Logic Tree* 42
3.9 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) 43
3.10 Menentukan Gerakan Tanah Design 45
3.10.1 Degregasi Hazard Kegempaan 45
3.10.2 Spektal Hazard Seragam (UHS) 46
3.11 Kecepatan Gelombang Geser pada Kedalamn 30 meter (Vs30) 48
3.12 Amplifikasi 49
3.12.1 Amplifikasi Respon Tanah Berdasarkan Pada Rekaman Gempa 50
3.12.2 Amplifikasi Berdasarkan Groundmotion Respon Analysis 50
3.13 Respon Spektra Target 51
3.14 Ground Motion Gempa Sintetik 52
3.15 Respon Dinamika Tanah 52
3.16 Parameter Dinamika Tanah 54
3.17 Perambatan Gelombang 55
BAB IV METODE PENELITIAN 57
4.1 Pengumpulan Data Penelitian 57
4.2 Instrument Penelitian 58
4.3 Tahapan Analisis 58
4.3.1 Konversi Skala Magnitude 58
4.3.2 Pemisahan Gempa Utama 58
4.3.3 Analisis Kelengkapan Data 59
4.3.4 Pemodelan Zona Sumber Gempa 59

4.3.5 Fungsi Atenuasi 60
4.3.6 Logic Tree 60
4.3.7 Analisis Seismic Hazard 62
4.3.8 Deagregasi Hazard Gempa 62
4.3.9 Analisis Respon Dinamika Tanah 63
4.4 Diagram Alir Penelitian 64
BAB V HASIL dan PEMBAHASAN 67
5.1 Data Gempa 67
5.1.1 Penyeragaman Magnitude Gempa 68
5.1.2 Pemisahan Gempa Utama dan Gempa Ikutan 68
5.2 Pemodelan Sumber Gempa 68
5.2.1 Pemodelan Sumber Gempa Subduksi 68
5.2.2 Pemodelan Sumber Gempa *Swallow Crustal* 69
5.3 Karakteristik Sumber Gempa 69
5.3.1 Parameter nilai a dan nilai b 70
5.3.2 Magnitude Maksimal dan Sliprate 70
5.4 Fungsi Atenuasi 74
5.5 Logic Tree 74
5.6 Peta Vs30 Provinsi Jawa Tengah 75
5.7 Hasil Analisis Hazard Gempa 76
5.7.1 Perbandingan dengan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 103
5.8 Peta Fa dan Fv 106
5.9 Deagregasi *Hazard* Gempa 109
5.9.1 Deagregasi *Hazard* Gempa Daerah Semarang 109
5.9.2 Deagregasi *Hazard* Gempa Daerah Pati 110
5.9.3 Deagregasi *Hazard* Gempa Daerah Solo 111
5.10 Respon Spektra Target Hasil Analisis *Uniform Hazar Spektrum* 111
5.10.1 Respon Spektra Target Daerah Semarang 112
5.10.2 Respon Spektra Target Daerah Pati 113
5.10.3 Respon Spektra Target Daerah Solo 113
5.11 Spectral Matching 114
5.11.1 Analisis *Spectral Matcing* Daerah Semarang 114
5.11.2 Analisis *Spectral Matching* Daerah Pati 115
5.11.3 Analisis *Spectral Matching* Daerah Solo 115
5.12 *Ground Motion design* di Batuan Dasar 117

5.12.1 *Ground Motion design* di Batuan Dasar Daerah Semarang 117
5.12.2 *Ground Motion design* di Batuan Dasar Daerah Pati 118
5.12.3 *Ground Motion design* di Batuan Dasar Daerah Solo 118
5.13 Respon Dinamika Tanah 119
5.13.1 Parameter Dinamik Tanah Daerah Semarang 120
5.13.2 Parameter Dinamik Tanah Daerah Solo 123
5.13.3 Parameter Dinamik Tanah Daerah Pati 127
5.14 Faktor Amplifikasi 131
BAB VI KESIMPULAN dan SARAN 132
6.1 Kesimpulan 132
6.2 Saran 133
DAFTAR PUSTAKA 135

DAFTARA TABEL

Tabel 2.1 Rangkuman beberapa penelitian terdahulu yang membahas seismic hazard 19
Tabel 3.1 Koefisien-Koefisien Persamaan Atenuasi Atkinson – Boore (2003)..36
Tabel 3.2 Koefisien yang digunakan Dalam Atenuasi Youngs (1997) untuk Menentukan Pseudo Acceleration Response Spectra.....37
Tabel 3.3 Koefisien Persamaan Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA 39
Tabel 3.4 Koefisien Lanjutan Persamaan Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA 39
Tabel 3.5 Koefisien yang digunakan dalam fungsi atenuasi Sadigh (1997) M≤6.5 41
Tabel 3.6 Koefisien yang digunakan dalam fungsi atenuasi Sadigh (1997) M≥6.5 41
Tabel 3.7 Tahap Proses Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis 44
Tabel 3.8 Klasifikasi Kelas situs tanah berdasarkan SNI 1726-2019 48
Tabel 3.9 Kolerasi antara Gmax dengan qc 54
Tabel 3.10 Kolerasi antara Vmax dengan Vs.....54
Tabel 3.11 Kolerasi antara Vs dan qc 55
Tabel 4.1 Korelasi konversi antara beberapa skala magnitude untuk wilayah Indonesia (Asrurifak 2010) 58
Tabel 5.1 Karakteristik Sumber Gempa Subduksi 73
Tabel 5.2 Karrakteristik Sumber *Gempa Swallow Crustal* 73
Tabel 5.3 Koefisien Situs Fa pada SNI 1726-2019.....95
Tabel 5.4 Koefisien Situs Fv pada Sni 1726-2019.....95
Tabel 5.5 Koordinat Tiga Daerah Penelitian.....98
Tabel 5.6 Rangkuman Hasil Deagregasi 100
Tabel 5.7 Rangkuman Karekterisasi data Ground Motion yang digunakan dalam Probabilitas 2% dalam 50 Tahun 105
Tabel 5.8 Rangkuman Karekterisasi data Ground Motion yang digunakan dalam Probabilitas 10% dalam 50 Tahun 106
Tabel 5.9 Data Pengujian Tanah yang digunakan Untuk Analisis Respon.....109

Tabel 5.10 Perhitungan Nilai Kecepatan Gelombang Geser (Vs) daerah Pati 109
Tabel 5.11 Perhitungan Nilai Kecepatan Gelombang Geser (Vs) daerah semarang 113
Tabel 5.12 Perhitungan Nilai Kecepatan Gelombang Geser (Vs) daerah Solo 117
Tabel 5.13 Faktor Amplifikasi ketiga Daerah Penelitian.....121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Kerangka Tektonik Indonesia (Bock, et al 2003) 1

Gambar 2.1 Peta Percepatan Tanah Puncak (PGA) Probabilitas 10% dalam 50 Tahun.....10

Gambar 2.2 Peta Respon Spektra 0.2 detik Probabilitas 10% dalam 50 Tahun .10

Gambar 2.3 Peta Deagregasi Magnitude (M) pada PGA dengan Probabilitas 2% dalam 50 tahun 11

Gambar 2.4 Peta Deagregasi Jarakdengan Probabilitas 2% dalam 50 tahun 11

Gambar 2.5 Peta Batuan Dasar PGA Pulau Jawa Selama 2475 menggunakan sofware PSHA USGS 12

Gambar 2.6 Bedrock pulau Jawa dengan Kala ulang 2475 Tahun 12

Gambar 2.7 Peta Kerentanan Kota Cilacap 14

Gambar 2.8 Posisi Bandara terhadap Sumber Seismik Hazard 16

Gambar 2.9 Peta PGA Akibat Gempa Subduksi 17

Gambar 2.10 Rekaman Modifikasi Sumber Benioff 18

Gambar 2.11 Rekaman Modifikasi Sumber Megathrus 18

Gambar 2.12 Rekaman Modifikasi Sumber Swallow Crustal 18

Gambar 3.1 Arah dan Kecepatan Gerakan Lempeng Tektonik 18

Gambar 3.2 Arah Gerakan Continent Drift 19

Gambar 3.3 Peta tektonik wilayah Indonesia 20

Gambar 3.4 Shallow crustal di pulau Jawa 21

Gambar 3.5 Fisiografi Jawa Tengah 24

Gambar 3.6 Model Plat Tektonik Indonesia 30

Gambar 3.7 Segmentasi Megathrus 31

Gambar 3.8 Model Zona Subduksi, Terdiri dari Zona Megathrust dan Benioff 31

Gambar 3.9 Atenuasi Young et al (1997) Dalam Bentuk Kurva 38

Gambar 3.10 Atenuasi Sadigh (1997) Dalam Bentuk Kurva. 42

Gambar 3.11 Contoh Logic Tree Dalam Analisis Hazard Gempa 43

Gambar 3.12 Peta Crs (a) dan (b) Peta Cr1.....48

Gambar 3.13 Peta Vs30 D.I Yogyakarta 49

Gambar 3.14 Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Percepatan 53

Gambar 3.15 Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Bentuk Respon Spektra 53
Gambar 4.1 Logic Tree untuk sumber gempa subduksi 62
Gambar 4.2 Logic Tree untuk sumber gempa shallow crustal 63
Gambar 5.1 Data Gempa Dari Katalog USGS 67
Gambar 5.2 Data Gempa Utama Setelah dipisahkan dari Gempa Ikutan 68
Gambar 5.3 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa *Swallow Crustal* 69
Gambar 5.4 Letak enam Potongan Melintang Untuk Sudut Penunjang..... 70
Gambar 5.5 Penentuan Nilai-a dan-b Zona Subduksi Sumatera 71
Gambar 5.6 Penentuan Nilai-a dan-b Zona Subduks Jawa 1 71
Gambar 5.7 Penentuan Nilai-a dan-b Zona Subduks Jawa 2 71
Gambar 5.8 Penentuan Nilai-a dan-b Zona Subduks Jawa 3 72
Gambar 5.9 Penentuan Nilai-a dan-b Zona Subduks Jawa 4 72
Gambar 5.10 Peta Vs Provinsi Jawa Tengah..... 76
Gambar 5.11 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Batuan Dasar 10% dalam 50 Tahun 79
Gambar 5.12 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Batuan Dasar 2% dalam 50 Tahun 78
Gambar 5.13 Peta Respon Spektra 0.2 Detik di Batuan Dasar Probabilitas 2% dalam 50 Tahun..... 79
Gambar 5.14 Peta Respon Spektra 0.2 Detik di Batuan Dasar Probabilitas 10% dalam 50 Tahun 80
Gambar 5.15 Peta Respon Spektra 1 Detik di batuan Dasar Probabilitas 2% 50 Tahun 81
Gambar 5.16 Peta Respon Spektra 1 Detik di batuan Dasar Probabilitas 10% 50 Tahun 82
Gambar 5.17 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Permukaan pada 10% dalam 50 Tahun 83
Gambar 5.18 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Permukaan 2% dalam 50 Tahun 84
Gambar 5.19 Peta Respon Spektra 0.2 Detik di Permukaan Probabilitas 2% dalam 50 Tahun 85
Gambar 5.20 Peta Respon Spektra 0.2 Detik di Permukaan Probabilitas 10% dalam 50 Tahun 86
Gambar 5.21 Peta Respon Spektra 1 Detik di Permukaan Probabilitas 2% dalam 50 Tahun 87
Gambar 5.22 Peta Respon Spektra 1 Detik di Permukaan Probabilitas 10% dalam 50 Tahun 88

Gambar 5.23 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas 10% terlampaui 50 Tahun dalam Pusgen 2017 92
Gambar 5.24 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Batuan Dasar untuk Probabilitas 2% terlampaui 50 Tahun dalam Pusgen 2017 93
Gambar 5.25 Peta Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas 20% terlampaui 50 Tahun dalam Pusgen 2017 93
Gambar 5.26 Peta Percepatan 1 detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas 20% terlampaui 50 Tahun dalam Pusgen 2017 94
Gambar 5.27 Peta Percepatan Getaran Periode Pendek (Fa) 96
Gambar 5.28 Peta Percepatan Getaran Periode Panjang (Fv) 97
Gambar 5.29 Hasil Deagregasi hazard Gempa daerah Semarang (a) pada periode 0.2 detik dan (b) Periode PGA 99
Gambar 5.30 Hasil Deagregasi hazard Gempa daerah Solo (a) pada periode 0.2 detik dan (b) Periode PGA 100
Gambar 5.31 Hasil Respon Spektra Target Daerah Semarang (a) pada probabilitas 2% dan (b) Probabilitas 10% 101
Gambar 5.32 Hasil Respon Spektra Target Daerah Solo (a) pada probabilitas 2% dan (b) Probabilitas 10% 102
Gambar 5.33 Hasil Respon Spektra Target Daerah Pati (a) pada probabilitas 2% dan (b) Probabilitas 10% 102

ABSTRAK

Jawa Tengah adalah salah satu provinsi di Indonesia yang mempunyai tingkat resiko kegempaan cukup tinggi karena letaknya yang berdekatan dengan pertemuan lempeng tektonik dan terdapatnya beberapa sesar dan menduduki nomor tiga dengan jumlah penduduk terbanyak di Indonesia, (https:jateng.bps.go.id). Jumlah penduduk yang tinggi memiliki tingkat kerawanan dan resiko yang cukup tinggi sudah seharusnya perencanaan bangunan-bangunan sipil di wilayah Jawa Tengah didesain terhadap beban gempa. Analisis *seismic hazard* dilakukan untuk memberikan estimasi kuantitatif dari goncangan gempa pada suatu lokasi tertentu. Salah satu metodenya adalah dengan *Probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA).

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan dan pengolahan data gempa, pemodelan dan karakterisasi sumber gempa, analisis bahaya gempa probabilistic, deagregasi, *Uniform Hazard Spectrum* (UHS), spectral matching, analisis respon dinamika tanah. Penyusun peta seismic hazard dengan analisis PSHA di batuan dasar dan permukaan pada periode PGA, T=0.2 detik dan T=1 detik pada probabilitas 2% dan 10% periode ulang gempa 50 tahun menggunakan *software* SR Model. Model yang digunakan berdasarkan katalog gempa daerah penelitian yaitu pulau Jawa di *latitude* 5°LS - 12°LS dan *longitude* 105°BT - 115°BT mulai tahun 1950 sampai bulan Juli 2021 dengan nilai magnitudo Mw≥5, menggunakan katalog dari USGS (*United Stated Geological Survey*). Analisis perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan yang telah diketahui kondisi tanah berdasarkan hasil uji pengeboran dan *Standard Penetration Test* (SPT) yaitu Semarang, Solo, Pati menggunakan *software* Deepsoil V7.

Seismic hazard Wilayah Jawa Tengah sangat dipengaruhi oleh zona subduksi (pertemuan lempeng), patahan/sesar. Secara kuantitatif resiko kegempaan Provinsi Jawa Tengah menghasilkan Periode PGA di batuan dasar probabilitas 10% rentang nilai 0.1g – 0.6g, probabilitas 2% rentang nilai antara 0.2 g – 1g. Pada peta respon spektra periode 0.2 detik di batuan dasar probabilitas 10% rentang nilai 0.15g-2.0 g, probabilitas 2% rentang nilai 0.3g-2.5g. Pada peta respon spektra periode 1 detik di batuan dasar probabilitas 10% rentang nilai 0.1g-0.6g, probabilitas 2% rentang nilai 0.15g-0.8g. Pada periode PGA di permukaan probabilitas 10% rentang nilai 0.1g – 0.7g, probabilitas 2% rentang nilai 0.2g – 0.15g. Pada peta respon spektra periode 0.2 detik di permukaan probabilitas 10% rentang nilai 0.2g-2.0 g, probabilitas 2% rentang nilai 0.3g-2.5g. Pada peta respon spektra periode 1 detik di permukaan probabilitas 10% rentang nilai 0.1g-0.6g, probabilitas 2% rentang nilai 0.15g-1.0g. Pada peta percepatan getaran periode pendek *(Fa)* rentang nilai 0.9-2.0g dan peta percepatan getaran periode panjang (*Fv*) rentang nilai 1.2-3.0g. Respon spektra di permukaan tanah pada ke tiga daerah, daerah Solo Probabilitas 2% nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.655g menjadi 0.939g, probabilitas 10% nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.463 g menjadi 0.594 g. Daeah Semarang probabilitas 2% nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.974 g menjadi 1.688g, probabilitas 10% nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 1.343 g menjadi 1.693 g. Daerah Pati Probabilitas 2% nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.897g menjadi 1.029g, probabilitas 10% nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.902 g menjadi 0.966 g. Hasil amplifikasi perambatan gelombang geser dari batuan dasar ke permukaan tanah daerah Solo pada Probabilitas 2% 1.432 g dan Probabilitas 10% 1.284 g. Daerah Semarang pada Probabilitas 2% 1.629 g dan Probabilitas 10% 1.261 g. Daerah Pati pada Probabilitas 2% 1.144 g. dan Probabilitas 10% 1.054 g.

Kata Kunci : *Probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA), deagregasi, respons spektra, spectral matching, respon dinamika tanah.

ABSTRACT

Central Java is one of the provinces in Indonesia that has a possibility high level of seismic risk due to its proximity to the confluence of tectonic plates and the presence of several faults which occupies third position as the largest population in Indonesia, (https:jateng.bps.go.id). The high population has sufficiently high level of vulnerability and risk thus, it is necessary for the planning of civil buildings in the Central Java region to be designed against earthquake loads. Seismic hazard analysis is carried out to provide quantitative estimates of earthquake shocks at a particular location. One of the methods is Probabilistic seismic hazard analysis (PSHA).

The research stages include collecting and processing earthquake data, modeling and characterizing earthquake sources, probabilistic earthquake hazard analysis, deaggregation, Uniform Hazard Spectrum (UHS), spectral matching, soil dynamic respon analysis. Seismic hazard map compiler with PSHA analysis on bedrock and surface at period (PGA), T=0.2 second and T=1 second at 2% and 10% probability of 50 year earthquake return period using SR Model software. The model used is based on the earthquake catalog in the research area, which is Java Island at latitude 5° South Latitude - 12° South Latitude and Longitude 105° East Longitude - 115° East Longitude from 1950 to July 2021 with a magnitude value of Mw≥5, using a catalog from the USGS (United Stated Geological Survey). Analysis of wave propagation from bedrock to surface with known soil conditions based on drilling and Standard Penetration Test (SPT) results, which are Semarang, Solo, Pati using Deepsoil V7 software.

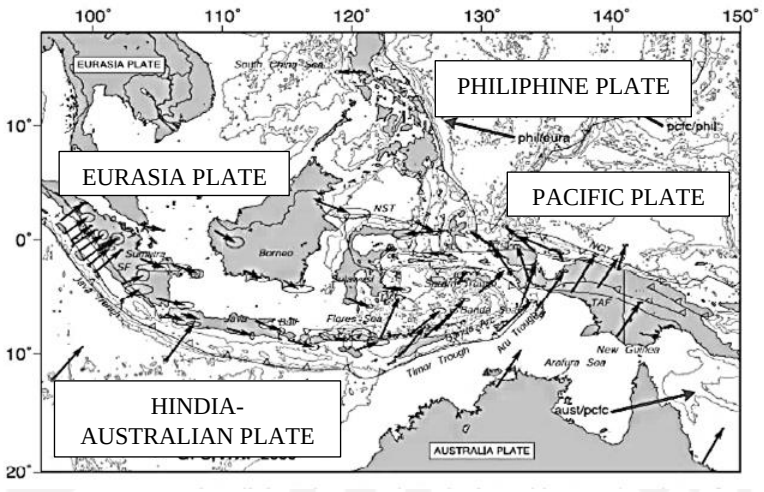
Seismic hazard in Central Java region is strongly influenced by subduction zones (plate encounters), faults. Quantitatively, the seismic risk of Central Java Province resulted in the PGA Period in bedrock with a 10% probability value range of 0.1g – 0.6g, a 2% probability value range between 0.2 g – 1g. On the Response Spectral Map for a period of 0.2 seconds in bedrock, the probability is 10% in the 0.15g-2.0g range, the 2% probability is in the 0.3g-2.5g range. On the response spectra map for a period of 1 second in bedrock, the probability is 10% in the 0.1g-0.6g range, the 2% probability is in the 0.15g-0.8g range. In the PGA period on the surface the probability is 10% the value range is 0.1g – 0.7g, the probability is 2% the value range is 0.2g – 0.15g. On the Response Spectral Map of the 0.2 second period on the surface of the 10% probability value range 0.2g-2.0 g, 2% probability value range 0.3g-2.5g. On the response spectral map 1 second period on the surface of the 10% probability value range 0.1g-0.6g, 2% probability value range 0.15g-1.0g. In the short period vibration acceleration map (Fa) the value range is 0.9-2.0g and the long period vibration acceleration map (Fv) the value ranges from 1.2-3.0g. Response spectra on the ground surface in the three areas, Solo area Probability of 2% response spectra value on bedrock to surface 0.655g to 0.939g, 10% probability response spectra value on bedrock to surface 0.463 g to 0.594 g. Semarang area has a 2% probability of the response spectra value on bedrock to the surface from 0.974 g to 1.688g, a 10% probability value of the response spectra on bedrock to the surface from 1.343 g to 1.693 g. Starch Area 2% probability response spectra value on bedrock to surface 0.897g to 1.029g, 10% probability response spectra value on bedrock to surface 0.902 g to 0.966 g. The results of amplification of shear wave propagation from bedrock to soil surface in Solo area at 2% Probability is 1,432 g and Probability 10% is 1,284 g. Semarang area at 2% probability 1,629 g and 10% probability 1,261 g. Starch Area at 2% Probability 1.144 g. and Probability 10% 1,054 g.

Key words: *Probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA), *deaggregation, Response Spectral, Spectral Matching,* Soil Dynamic Respon Analysis.

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia merupakan wilayah dengan intensitas gempa bumi yang cukup tinggi karena menempati zona tektonik yang sangat aktif karena terletak di daerah pertemuan lempeng tektonik aktif diantaranya Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Indo-Australia serta satu lempeng Mikro yaitu Lempeng Mikro Filipina (Bock, *et al* 2003).



Gambar 1.1 Peta Kerangka Tektonik Indonesia (Bock, *et al* 2003).

Ditemukan banyak sesar aktif yang muncul di seluruh wilayah Indonesia, secara keseluruhan pada peta gempa 2017 ditemukan 295 titik sesar aktif apabila dibandingkan dengan peta gempa 2010 ditemukan 81 titik sesar aktif. Di pulau Jawa sendiri terdapat 37 sesar jika sebelumnya hanya 10 sesar aktif. Hal tersebut menunjukkan bahwa teridentifikasi bertambahnya sesar aktif menimbulkan peningkatan *seismic hazard* di Indonesia (Pusgen, 2017).

Provinsi Jawa Tengah menduduki nomor 3 dengan jumlah penduduk terbanyak di Indonesia, memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dengan jumlah 36.742.501 jiwa di tahun 2021 (https:jateng.bps.go.id). Berdasarkan data historis gempa, terdapat beberapa gempa merusak yang pernah terjadi pada wilayah tersebut, dalam 20 tahun terakhir telah terjadi banyak gempa yang signifikan dan merusak di Provinsi Jawa Tengah, gempa – gempa tersebut di antaranya gempa

Banjarnegara (4 SR), Kebumen (6,5 SR), Banjarnegara (4,8 SR), Brebes (5 SR), Cilacap (7.1 SR) (BMKG, 2019), serta gempa Jogja (6,2 SR) dirasakan di daerah-daerah di Provinsi Provinsi Jawa Tengah yang mengalami kerusakan berat adalah Klaten, Sukoharjo, Boyolali, Wonogiri, Purworejo, Kebumen, Magelang, Temanggung dan Karanganyar. Dampak kerusakan diantaranya 99.730 rumah rusak berat, 104.111 rumah rusak ringan, 1.059 meninggal dan lebih dari 1.000 orang luka-luka (https://www.bappenas.go.id). Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa setiap daerah dan jumlah penduduk yang tinggi di Provinsi Jawa Tengah memiliki tingkat kerawanan dan resiko yang cukup tinggi terhadap bencana gempa bumi. Hingga saat ini, gempa merupakan bencana yang tidak dapat dicegah dan tidak dapat diprediksi secara akurat baik kapan terjadi gempa, tempat kejadian maupun magnitude. Dengan demikian bencana gempa berpotensi menimbulkan masalah serius karena dapat mengakibatkan kerusakan dan kerugian dalam jumlah yang besar.

Beberapa usaha yang dilakukan untuk mitigasi/pengurangan resiko akibat bencana diantaranya adalah Peraturan Pemerintah RI No. 21 tahun 21 tahun 2008 mengenai penyelenggaraan penanggulangan bencana, salah satu mitigasi bencana alam yaitu dengan melakukan penelitian mikrozonasi, rekomendasi dari hasil akhir tim revisi peta *hazard* gempa Indonesia tahun 2010 adalah perlu dibuatnya peta mikrozonasi untuk kota-kota besar sebagai upaya mitigasi bencana gempa, serta usaha yang dapat dilakukan dengan merencanakan dan membangun bangunan yang tahan gempa (Irsyam dkk., 2010), dengan merencanakan bangunan yang mempertimbangkan aspek-aspek kuantitatif diantaranya aspek geoteknik, aspek seismologi, aspek geologi, serta aspek struktur merupakan konsep perencanaan bangunan harus memperhitungkan tingkat bahaya gempa secara kuantitatif (Mahesworo, 2008).

Para ahli dalam kasus *hazard* gempa melakukan studi metode perhitungan/analisis *hazard* gempa yang untuk meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa bumi, salah satunya adalah metode *Probabilistic Seismic Hazard Analisis* (PSHA). Metode PSHA pertama kali diperkenalkan oleh Cornell (1968). Metode PSHA mampu mengintegrasikan *hazard* dari suatu daerah terhadap berbagai sumber gempa (Fauzi, 2011), metode PSHA dapat menyajikan kemungkinan adanya kejadian gempa bumi dalam kurun waktu tertentu serta untuk memperhitungkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis seperti ketidakpastian lokasi, ukuran, dan frekuensi kejadian gempa. Hasil PSHA perlu diolah

menjadi deagradasi dan *Uniform Hazard Spectra* (UHS), pengolahan deagradasi berguna untuk penentuan jarak dan magnitude yang memberikan kontribusi terhadap *hazard* pada suatu perioda ulang tertentu dan perioda struktur yang ditinjau, pengolahan *Uniform Hazard Spectra* (UHS) dapat membuat respon spektra yang menggambarkan satu kejadian gempa pada periode ulang yang di tinjau. Salah satu komponen dalam penyusunan peraturan kegempaan adalah tersedianya data *ground motion* (percepatan riwayat waktu) dan respon spektra. Sampai saat ini ketersediaan data *ground motion* untuk wilayah Indonesia, khususnya Jawa Tengah tidak tersedia secara lengkap, bahkan dalam buku panduan SNI 03-1726-2002 dijelaskan bahwa dianjurkan untuk menggunakan 4 rekaman akselerogram dari 4 gempa yang berbeda, karena pemakain data *ground motion* yang diambil dari lokasi lain belum tentu sesuai untuk semua lokasi di Indonesia, hal ini perlu dilakukan karena data *ground motion* berguna untuk analisis dinamik yang akurat, maka pemilihan *ground motion* harus sesuai dengan seismologi dan target parameter pergerakan batuan dasar (parameter *ground motion*), kondisi geologi, seperti percepatan gempa maksimum, kandungan frekuensi, dan durasi (Irsyam dkk., 2008).

Penelitian yang spesifik termasuk analisis dinamika tanah sangat berpengaruh dalam perencanaan konstruksi tertentu, analisis perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan yang telah diketahui kondisi tanah berdasarkan hasil uji pengeboran dan *Standard Penetration Test* (SPT) penyelidikan tanah telah dilakukan di keempat daerah yaitu Semarang, Pati, Solo sehingga ketersediaan data yang cukup memadai tersebut tentunya dapat dimanfaatkan untuk memprediksi spesifik Gerakan tanah di permukaan melalui analisis perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan, yang biasa disebut *Site Specific Analysis* (SSA). Semarang, Pati, Solo, daerah-daerah terebut merupakan daerah dengan populasi penduduk yang cukup padat. Semarang daerah srategis terletak pada pesisir utara dengan berbagai infrastruktur, pariwisata dan obyek vital pemerintahan dan perdagangan seperti pelabuhan, bandara dan sarana penunjang perdagangan lainnya. Pati terletak pada timur laut utara pulau jawa terdapat beberapa tempat wisata religi dan infrastruktur yang cukup penting bagi kehidupan masyarakat seperti pelabuhan juwana,tayu, PLTU, jalur pantura pati yang menghubungkan antara Surabaya-Semarang jalur tersebut merupakan jalur ramai sebagai jalur transit. Solo merupakan kota terbesar ketiga setelah Malang dan

Bandung, terdapat berbagai perguruan tinggi, infrastruktur, obyek vital pemerintahan dan sarana penunjang perdagangan lainnya. Dari latar belakang ke tiga daerah tersebut berpotensi untuk investasi dan penanaman modal dengan demikian, perencanaan pembangunan struktur dan infrastruktur lebih baik sudah memperhatikan aspek kerentanan terhadap potensi gempa untuk menghindari kerugian yang mungkin timbul di kemudian hari akibat bencana gempa.

Berbagai upaya untuk mengurangi resiko gempa telah dilakukan di antaranya melalui berbagai penelitian *hazard* gempa. Penelitian yang ada selama ini masih terbatas pada perhitungan *hazard* gempa di batuan dasar, penelitian-penelitian tentang *hazard* gempa yang memuat Provinsi Jawa Tengah antara lain dilakukan oleh Abdul, *et al* (2015) melakukan analisis mengenai *Probabilistic Seismic-Hazard Analysis For Central Java Province, Indonesia.* Membuat peta kerawanan *hazard* kegempaan wilayah Jawa Tengah dengan PSHA di batuan dasar PGA probabilitas 10% dalam 50 tahun dan respon spektra probabilitas 10% dalam 50 tahun, pemodelan sumber gempa meliputi sesar (*fault*) opak, lasem, Pati, data historis kejadian gempa bumi dari tahun 1900-2011. Jimmi, *et al* (2013) menganalisis mengenai Analisis *Hazard* Gempa dan *Isoseismal* Untuk Wilayah Jawa-Bali-NTB, penelitian ini hanya dilakukan pada kota-kota besar di wilayah Jawa-Bali-NTB. Muhaimin, *et al* (2016) menganalisis mengenai Analisis Risiko Gempa Bumi di Cilacap Provinsi Jawa Tengah, peta ini masih bersifat mikrozonasi dan *ground motion* di batuan dasar.

Berdasarkan latar belakang diatas, faktor populasi penduduk yang cukup tinggi dan tingkat resiko kegempaan yang tinggi, perlu untuk dilakukan upaya tindakan mitigasi dampak bencana gempa bumi di Provinsi Jawa Tengah. Penelitian mengenai *seismic hazard* yang ada selama ini masih terbatas pada perhitungan *hazard* gempa di batuan dasar, oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menyusun peta seismic hazard dengan analisis PSHA di batuan dasar dan permukaan pada periode (PGA), T=0.2 detik dan T=1 detik pada probabilitas 2% dan 10% periode ulang gempa 50 tahun, serta analisis dinamika dinamik untuk menganalisis perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan yang telah diketahui kondisi tanah berdasarkan hasil uji pengeboran dan *Standard Penetration Test* (SPT) yaitu Semarang, Solo, Pati menggunakan *software* Deepsoil V.7, pemilihan daerah tersebut didasarkan pada beberapa hal yang telah rincikan diatas.

1.2. Rumusan Masalah

Beberapa masalah yang dapat dirumuskan dari latar belakang diatas adalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana peta seismic *hazard* berdasarkan hasil PSHA batuan dasar dan permukaan periode PGA, 0.2 detik, 1 detik dengan probabilitas terlampaui 2%, 10% dalam waktu 50 tahun Provinsi Jawa Tengah?
2. Bagaimana peta klasifikasi kelas situs periode pendek *(Fa)* dan periode panjang *(Fv)* Provinsi Jawa Tengah?
3. Bagaimana respon spektra dan amplifikasi di permukaan untuk daerah Semarang, Pati, Solo?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut.

1. Menyusun peta seismic hazard berdasarkan hasil PSHA batuan dasar teramplifikasi dan PSHA permukaan pada probalitas terlampaui 2%, 10% dalam waktu 50 tahun Provinsi Jawa Tengah.
2. Menyusun peta klasifikasi kelas situs periode pendek *(Fa)* dan periode panjang *(Fv)* Provinsi Jawa Tengah.
3. Menentukan respon spektra dan amplifikasi di permukaan tanah untuk daerah Semarang, Pati, Solo.

1.4. Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan pada penilitian adalah sebagai berikut.

1. Data gempa bumi yang digunakan untuk menentukan parameter seismik adalah kejadian gempa yang sudah direkam dengan magnitude $Mw \geq 5{,}0$.
2. Data gempa yang digunakan adalah data historis kejadian gempa dari tahun 1950 – 2021 yang diperoleh dari katalog USGS.
3. Fungsi atenuasi untuk daerah *subduction* digunakan atenuasi dari Youngs (1997) dan Atkinson-Boore (2003). Fungsi atenuasi untuk gempa *shallow crustal* digunakan atenuasi dari Sadigh (1997) dan Boore-Atkinson (2006-NGA), Chiou-Young (2008) NGA.

4. Sumber gempa yang dianalisis sesuai spesifikasi SR Model , terbagi dalam sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) serta sumber gempa *shallow crustal* (*fault*)
5. Analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dan analisis deagregasi dilakukan dengan menggunakan *software* SR Model.
6. Percepatan tanah maksimum di permukaan dihitung dengan analisis PSHA Permukaan dan PSHA Batuan Dasar teramplifikasi dengan probabilitas terlampaui 10%, 2%, 50 tahun.
7. Deagregasi *hazard* gempa di hitung hanya beberapa wilayah saja yaitu Solo, Pati, Semarang berdasarkan spektra percepatan puncak di batuan dasar hasil analisis *hazard* gempa.
8. Faktor Amplifikasi yang dihitung ditinjau hanya beberapa titik saja di Semarang, Pati, Solo.
9. Analisis *spectral matching* untuk menentukan *ground motion* sintetik di batuan dasar dilakukan dengan bantuan *software* SeismoMatch.
10. Analisis respon dinamika tanah untuk daerah Semarang, Pati dan Solo.
11. Respon dinamika tanah dianalisis menggunakan dengan bantuan *software* DeepSoil.

1.5 Manfaat Penelitian

Studi ini merupakan bagian dari mitigasi bahaya kegempaan untuk Provinsi Jawa Tengah dan juga sangat diharapkan dapat menjadi masukan dalam meningkatkan nilai keamanan struktur bangunan yang akan direncanakan atau sebagai dasar evaluasi dan perencanaan struktur bangunan tahan gempa.

Deagregasi *hazard* gempa bermanfaat untuk mengelompokkan sumber gempa mana yang memberi kontribusi terbesar terhadap *hazard* gempa di wilayah yang akan diteliti. Deagregasi bermanfaat dalam analisis selanjutnya adalah *ground motion* sintetik dengan respon spektra yang menggambarkan satu kejadian gempa desain untuk melengkapi *Uniform Hazard Spectra* (UHS) pada periode ulang yang ditinjau. *Ground motion* dan respon spektra merupakan salah satu komponen utama yang bermanfaat dalam penyusunan peraturan kegempaan.

1.6 Definisi Operasional

Pembuatan definisi operasional digunakan untuk menghindari perbedaan kesalahan pemahaman terhadap penulisan istilah bahasa dalam penyususnan tesis. maka definisi operasional yang dijelaskan sebagai berikut:

1. *Seismic Hazard*

   Seismic hazard yang berkaitan dengan bahaya potensi gempa bumi didaerah tertentu antara keacakan lokasi, parameter magnitude goncangan gempa dari sumber gempa bumi ke site dan tingkat terjadi gempa yang dapat mempengaruhi suatu tempat di permukaan bumi.

2. Faktor Risiko Gempa Bumi

   Faktor-faktor risiko bencana gempa bumi terdiri dari faktor bahaya, kerentanan dan ketahanan. Faktor bahaya *(hazards)* terdiri dari dua faktor, yaitu zona bahaya gempa bumi dan bahaya ikutan *(collateral hazards*) tsunami. Kerentanan terdiri kerentanan fisik, kerentanan sosial. Faktor Ketahanan/Kemampuan *(Capacity)* terdiri Sumberdaya alami, Sumberdaya buatan, prasarana yang ada yaitu kemampuan mobilitas menunjukkan kemampuan untuk melakukanevakuasi.

3. Analisis *hazard* gempa probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*)

   Metode yang mengaitkan keacakan dari parameter lokasi, magnitude, atenuasi goncangan gempa dari sumber ke *site* dan tingkat keberulangan dari gempa yang akan mempengaruhi suatu tempat di permukaan bumi. Analisis ini akan menghasilkan parameter desain gempa yang dapat terlampaui dalam satu periode waktu tertentu.

4. Peta *Seismic Hazard*

   Peta *seismic hazard* adalah peta yang menunjukkan hasil dari analisis bahaya gempa bumi di daerah yang berbeda-beda serta mencerminkan potensi gempa bumi pada besaran nilai percepatan tanah di Provinsi Jawa tengah.

5. PSHA Permukaan

   PSHA Permukaan adalah analisis PSHA yang dianalisis dari batuan permukaan tanah dari persamaan GMPE tanah yang disesuaikan dengan nilai Vs30.

6. PSHA Batuan

   PSHA Batuan adalah analisis PSHA yang dianalisis pada batuan dari persamaan GMPE batuan yang disesuaikan dengan nilai Vs30.

7. Deagregasi

Deagregasi *hazard* gempa meliputi *mean source magnitude* (M) dan *mean source distance* (R) untuk gempa dengan probabilitas dan periode ulang tertentu analisis deagregasi mengidentifikasi gempa yang berperan untuk menginformasikan kontribusi terbesar terhadap *hazard* gempa pada suatu wilayah dalam periode ulang gempa tertentu.

8. *Uniform Hazard Spectrum* (UHS)

Uniform Hazard Spectrum (UHS) adalah spektra pada setiap titik daerah yang memiliki probabilitas yang sama untuk terlampaui.

9. Faktor situs

Faktor Situs adalah Koefisien situs tanah seismik didefinisikan sebagai rasio percepatan spektral pada situs dan batuan pada periode yang sama. Koefisien situs empiris menurun dengan meningkatnya tingkat percepatan tanah. Nilai empiris koefisien umumnya disajikan dalam periode pendek (T = 0.2 s) dan periode panjang (T = 1.0s) atau Fa dan Fv.

10. Percepatan Rwayat Waktu *(Ground motion)*

Ground motion di batuan dasar adalah data gempa yang diperlukan untuk analisa perambatan gelombang geser seismik pada suatu deposit tanah. Data ini dapat memberikan gambaran spesifik tentang kondisi geologi dan parameter-parameter kegempaan, misal nilai maksimum percepatan gempa di batuan dasar, durasi, dan frekuensi.

11. Respon Spektra

Respon spektra adalah hasil analisis respon-respon maksimum terhadap periode getar struktur *T* berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum diantaranya kecepatan maksimum atau percepatan maksimum massa struktur *single degree of freedom* dan simpangan maksimum (Widodo, 2001).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

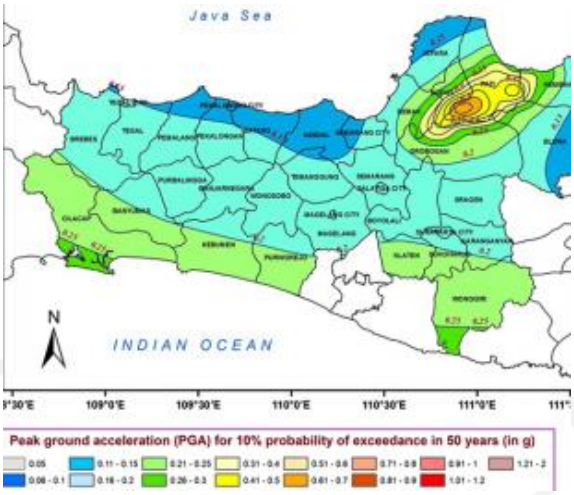
Beberapa penelitian terdahulu dengan topik penelitian yang sejenis digunakan oleh peneliti sebagai referensi dan bukti keaslian dari penelitian yang dilakukan. Penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

2.1 Abdul Latif A, *et al* (2015)

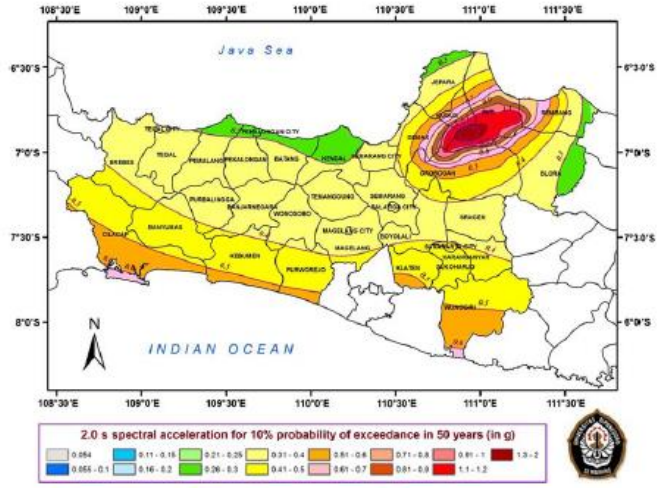
Abdul Latif, *et al* (2015) melakukan penelitian mengenai *Probabilistic Seismic-Hazard Analysis For Central Java Province, Indonesia.* Tujuan dari analisis ini adalah untuk membuat peta kerawanan gempa bumi dan memberikan estimasi nilai kuantitatif guncangan gempa dengan memperhitungkan nilai kerawanan bahaya di semua kabupaten dan kota di wilayah Jawa Tengah. Penelitian ini menggunakan *probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA).

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data historis kejadian gempa yang meliputi wilayah Jawa Tengah dari tahun 1900-2011 yang berdasarkan data USGS dengan kedalaman 300 km dan Mw 5 dan data BMKG. Wilayah penelitian berada pada koordinat geografis 105-115 BT dan 5-12 LS, dengan nilai magnitude diatas 5 Mw dan kedalaman maksimum pusat gempa 300 Km. pemodelan sumber gempa meliputi sesar (*fault*) opak, lasem, Pati.

Hasil penelitian ini pada **Gambar 2.1** merupakan peta PGA 10% dalam 50 tahun dan **Gambar 2.2** merupakan peta respon spektra 10% dakam 50 tahun, pada peta PGA menunjukkan bahwa tingkat kerawanan dengan parameter percepatan tanah (PGA) dalam 50 tahun menunjukkan bahwa kota Pati memiliki bahaya seismik tertinggi dengan PGA 0.45g, dan kota Kendal memiliki bahaya terendah dengan PGA 0.13g.



Gambar 2.1 Peta percepatan Puncak (PGA) untuk Probabilitas 10% dalam 50 tahun



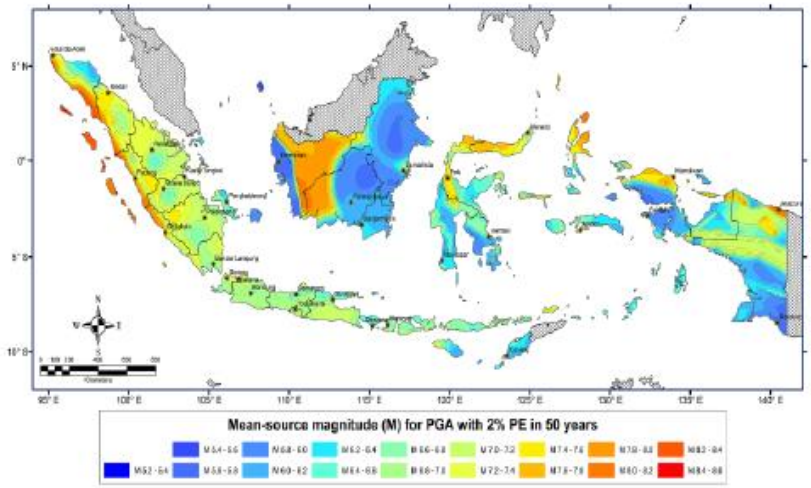
Gambar 2.2 Peta respon spekta Probabilitas 10% dalam 50 tahun

2.2 Asrurifak, et al (2012)

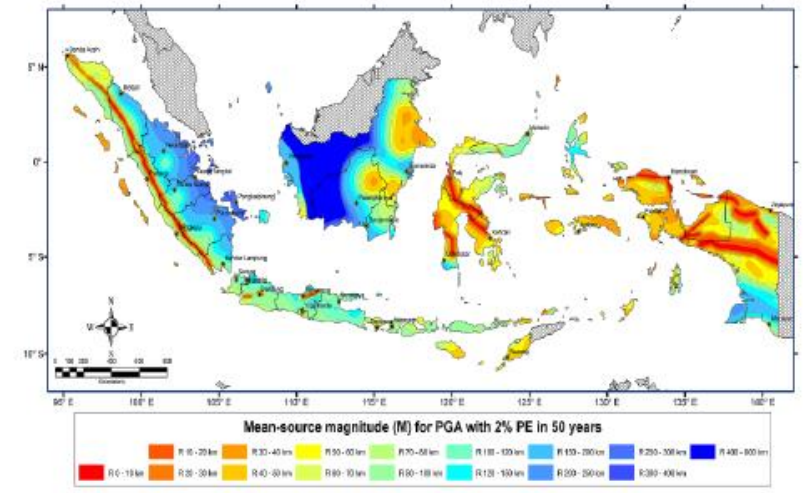
Asrurifak, et al (2012) melakukan penelitian tentang peta deagregasi *hazard* gempa Indonesia. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk membuat peta deagregasi hazard Indonesia meliputi peta *mean-source magnitude* (M) dan *mean-source distance* (R) untuk gempa pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau gempa dengan periode ulang 2.475 tahun.

Pada penelitian tersebut menggunakan parameter sesar yang tercantum dari Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, pemodelan sumber gempa meliputi sesar (*fault*) dan *gridded seismicity* (*background*), dan gempa subduksi. Hasil penelitian terdapat pada **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4** merupakan peta deagregasi M dan R 2% dan 5%

dalam 50 tahun yang menggambarkan fungsi nilai M dan R kontribusi terbesar terhadap percepatan puncak yang dihasilkan. Beberapa catatan yang perlu diperhatiakan dalam penelitian ini yaitu data gempa yang digunakan hanya sampai tahun 2010, belum merekomendasikan respon spektra dan *ground motion* untuk suatu daerah yang akan ditinjau.



Gambar 2.3 Peta deagregasi magnitude (M) pada PGA dengan 2% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun



Gambar 2.4 Peta deagregasi jarak sumber gempa (R) pada PGA dengan 2% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun

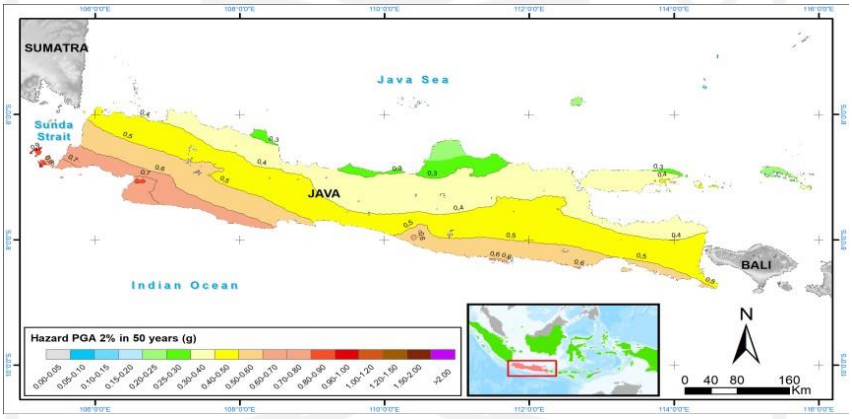
2.3 Arifan Jaya, et al (2020)

Arifan Jaya, *et al* (2020) menganalisis mengenai *Application of Modified PSHA USGS Software in Java Island Bed Rock Peak Ground Acceleration and Hazard Curve*

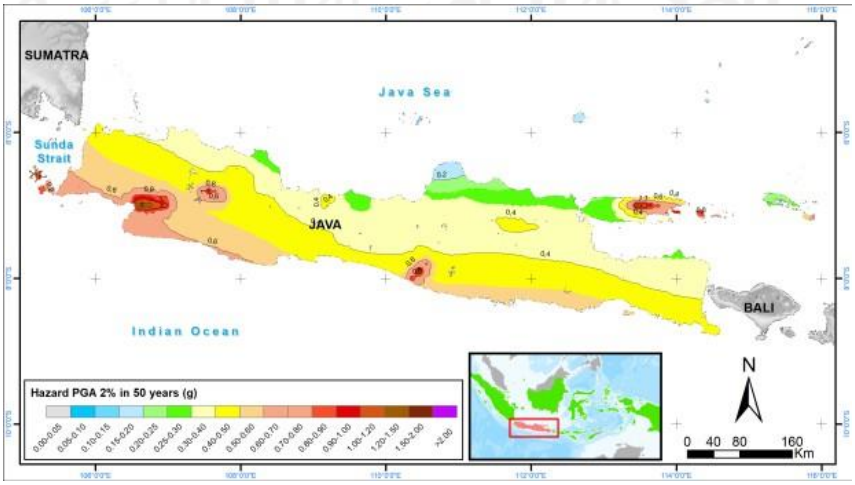
with 2475 Years Return Period. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis batuan dasar *Peak GroundAcceleration* (PGA) menggunakan software PSHA USGS yang dimodifikasi dengan update database GMPE yaitu BC Hydro 2016, Campbel Bozorgnia, 2014, Boore Atkinson 2014 dan Chiou Young 2014.

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data historis kejadian gempa yang meliputi wilayah Jawa yang berdasarkan data BMKG dan USG. Penelitian ini menekankan pada penggunaan software PSHA USGS yang dimodifikasi untuk analisis PGA batuan dasar di Pulau Jawa dalam periode ulang 2475 tahun.

Hasil analisis percepatan puncak di pulau jawa dengan software PSHA USGS yang dimodifikasi dibandingkan dengan analisis Open Quake yang digunakan untuk membuat Peta Gempa Indonesia Tahun 2017, Sebagai perbandingan dengan hasil penelitian ini pada **Gambar 2.5** dan analisis pada Peta Gempa Indonesia 2017 menggunakan OpenQuake **Gambar 2.6**, dapat dilihat kesamaan. Kisaran maksimum PGA yang dihasilkan tidak terlalu jauh, di mana kisaran selisihnya adalah 0,3g.



Gambar 2.5 Peta batuan dasar PGA Pulau Jawa selama 2475 tahun menggunakan PSHA USGS



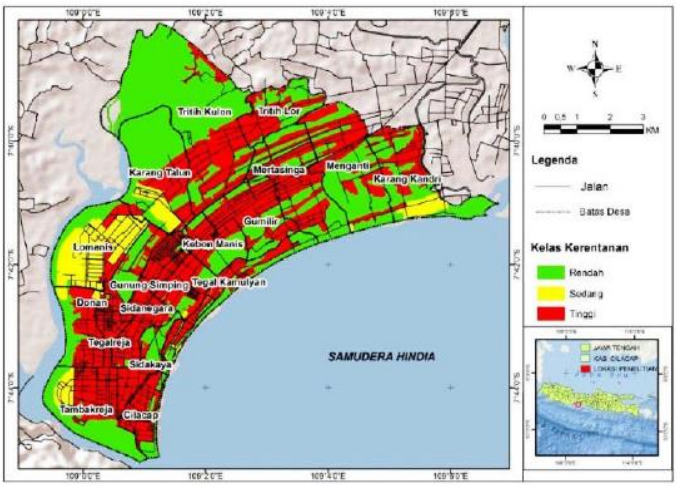
Gambar 2.6 Bedrock PGA Pulau Jawa dengan kala ulang 2475 tahun menggunakan Open Quake

2.4 Muhaimin, *et al* (2016)

Muhaimin, *et al* (2016) melakukan penelitian mengenai Analisis Risiko Gempa Bumi di Cilacap Provinsi Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerentanan, pemetaan terhadap bahaya gempa bumi, dan risiko gempa bumi di Kabupaten Cilacap karena wilayah tersebut berdekatan dengan jalur subduksi yang pada umumnya merupakan wilayah rawan gempa bumi yang berada di pesisir selatan Pulau Jawa. Penelitian ini menggunakan metode nilai percepatan maksimum permukaan tanah (*PGA)* yang diperoleh dari perhitungan empiris berdasarkan informasi sumber gempa bumi dan kondisi geologi wilayah tersebut melalui pendekatan *probabilistic seismic hazard analysis* (PSHA).

Data yang digunakan dalam analisis ini berupa data historis kejadian gempa yang meliputi wilayah Kabupaten Cilacap dengan Koordinat geografis 7°38’00”–7°45’00” LS dan 109°00’00”– 109°07’00” BT, literatur yang digunakan adalah katalog gempa bumi (BMKG, 2015), data Vs 30, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Kabupaten Cilacap skala 1:50,000, dan kondisi geologi Kabupaten Cilaccap. Analisis *hazard* bencana gempa dilakukan probabilitas 2% dalam 50 tahun sesuai dengan SNI 1726-2012.

Hasil analisis menunjukkan 3 hasil yaitu pada hasil nilai PGAM, analisis kerentanan wilayah dan analisis risiko, untuk Nilai PGAM bervariasi dari 0.405-0.494 g, yang menunjukkan bahwa wilayah Kota Cilacap tergolong ke dalam kelas bahaya sedang. Berdasarkan hasil analisis kerentanan wilayah di lihat pada **Gambar 2.7**, menunjukkan bahwa kerentanan tinggi pada daerah yang penggunaan lahan permukiman yaitu Desa Tambakreja, Sidanegara, Donan, Tritih Kulon bagian selatan, Cilacap, Mertasinga, dan Kamulyan. Hasil analisis risiko tinggi menunjukkan bahwa kelas risiko tinggi di desa Lomanis, Tambakreja, Tritih Kulon, Sidanegara, Donan, Mertasinga, dan Cilacap yang meliputi area seluas 3.237,40 ha.



Gambar 2.7 Peta kerentanan gempa bumi Kota Cilacap Jawa Tengah

2.5 Jimmi Nugraha, et al (2013)

Jimmi Nugraha, *et al* (2013) menganalisis mengenai Analisis *Hazard* Gempa dan *Isoseismal* Untuk Wilayah Jawa-Bali-NTB. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *hazard* gempa yang menunjukkan hasil nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar pada wilayah Jawa, Bali dan NTB dengan P*eak Ground Acceleration* (PGA) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun atau setara dengan periode ulang gempa 475 tahun, dan membuat kurva *hazard* (*hazard curve*), analisis *hazard* gempa diolah dengan menggunakan teori probabilitas total dan untuk pemodelan sumber gempa tiga dimensi pada kota - kota besar di wilayah Jawa, Bali dan NTB serta menunjukkan analisis *isoseismal* beberapa kejadian gempa di wilayah Jawa.

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data historis kejadian gempa yang meliputi wilayah Jawa-Bali-NTB dari tahun 1903-2010 yang berdasarkan data BMKG dengan kedalaman 0 – 300 km dan Mw ≥5 dan data PGA yang tercatat di jaringan BMKG. Wilayah penelitian berada pada koordinat geografis 104 BT – 117 BT dan 4 LS – 11 LS, dengan nilai magnitude diatas 5 Mw dan kedalaman maksimum pusat gempa 300 Km. Adapun metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode secara deterministic (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*), dan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *hazard* gempa menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum (PGAM) di batuan dasar Pulau Jawa, Bali dan NTB

mempunyai nilai rentang dari 0,05 g - 0,5 g nilai percepatan tinggi kemungkinan disebabkan adanya sesar-sesar yang belum teridentifikasi baik atau sudah tetapi parameter yang dibutuhkan dalam input PSHA belum lengkap. Untuk *hazard* gempa akibat fault mempunyai nilai rentang 0,05 g – 0,4 g. Untuk *hazard* gempa akibat subduksi nilai percepatan tanah maksimum mempunyai nilai rentang 0,05-0,6 g, sumber gempa subduksi memberikan dampak relative signifikan pada jarak yang cukup jauh. Sumber gempa sesar dominan mempengaruhi *hazard* di Kota Bandung, Yogyakarta dan Semarang. Kurva *hazard* gempa pada kota besar di Pulau Jawa menunjukkan hasil gempa dalam yang sangat berpengaruh di Kota Serang, Jakarta dan Surabaya.

2.6 Urip Nurwijayanto, *et al* (2018)

Urip Nurwijayanto, *et al* (2018) melakukan analisis mengenai Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Untuk Memetakan Risiko Bencana Gempa Bumi di Kab Pemalang Jawa Tengah. Tujaun analisis ini adalah untuk mengetahui tingkat risiko gempa bumi, pemetaan nilai percepatan tanah maksimum, karena terdapat sesar aktif yaitu sesar kali logeni-kali yang gerak turun dengan pergeseran tegak 10-50 m dan lebar ± 1500 m, Sesar kali Wuluh yang memiliki pergeseran tegak 20 m, sesar sekunder Kali Logeni dengan pergeseran tegak 15 m. Diperkirakan sesar tersebut dapat menimbulkan gempa berkekuatan 6,5 Mw (Badan Geologi, 2009). Penelitian ini menggunakan metode nilai percepatan maksimum permukaan tanah (PGA). Klasifikasi tingkat risiko bahaya gempa ditentukan berdasarkan nilai PGA yangerdasarkan pedoman peraturan kepala BNPB nomor 2 Tahun 2012 mengenai pengkajian risiko bencana yang selanjutnya dipetakan menjadi peta risiko bahaya gempa bumi di Kabupaten Pemalang.

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data historis kejadian gempa dari tahun 1980-April 2018 yang berdasarkan data *international seismological Center/ISC*. Wilayah penelitian berada pada koordinat geografis 106 BT – 115 BT dan -3 LS – -11 LS, dengan data kejadian gempa bumi yang dipakai sebanyak 3022 kali.

Hasil dari analisis menunjukkan sebaran nilai PGA berkisar antara 13.89-34.44 g, nilai terbesar pada daerah Kecamatan Watukumpul dan Keamatan Moga nilai PGA tinggi di daerah tersebut konstribusi dari gempa bumi Tegal pada tanggal 22 maret

2015. Klasifikasi tingkat risiko gempa bumi berdasarkan klasifikasi BNPB pada Kabupaten Pemalang berdasarkan Nilai PGA termasuk dalam katagori rendah dengan nilai <0.25 g.

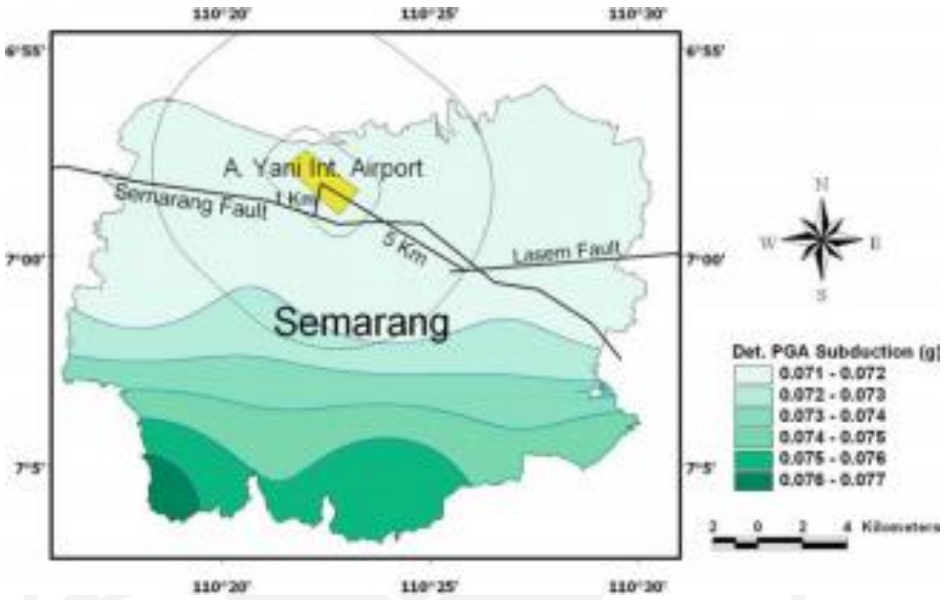
2.7 Windu Partono, *et al* (2018)

Windu Partono, *et al* (2018) melakukan analisis mengenai *Seismic Hazard Analysis Study of New Semarang International Airport Due To Shallow Crustal Fault Earthquake Scenario.* Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui bahaya seismik kawasan bandara karena berada pada 2 sumber seismik terdekat yaitu sesar semarang dan sesar lasem, sesar semarang menyebar di timur kota semarang dengan jarak 1 km menuju arah bandara, dan sesar lasem memiliki jarak 5 km menuju bandara yang terdapat pada **Gambar 2.8**. Penelitian ini menggunakan 3 langkah dasar yaitu *Probabilistic and Deterministic Seismic Hazard Analysis* (PSHA dan DSHA), kombinasi PSHA dan DSHA untuk mengembangkan *Most Wanted Earthquake Risk* (MCE_R).



Gambar 2.8 Posisi Bandara Terhadap Dua Sumber Seismik Terdekat

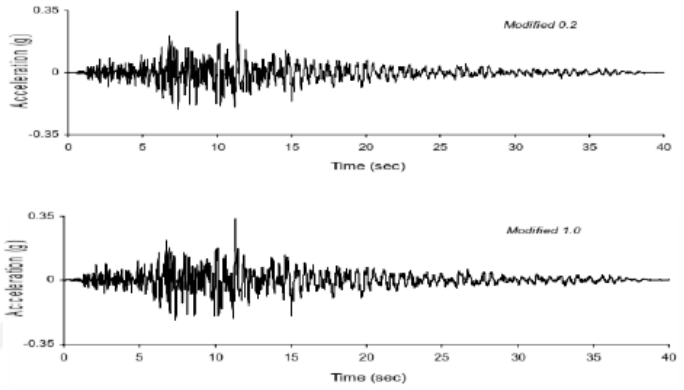
Hasil analisis yang di lakukan adalah nilai Hasil MCE_R S_S dan S_1 diperoleh pada titik-titik koordinat bandara terdapat pada **Gambar 2.9** masing-masing adalah 0,7965 dan 0,3512 g.



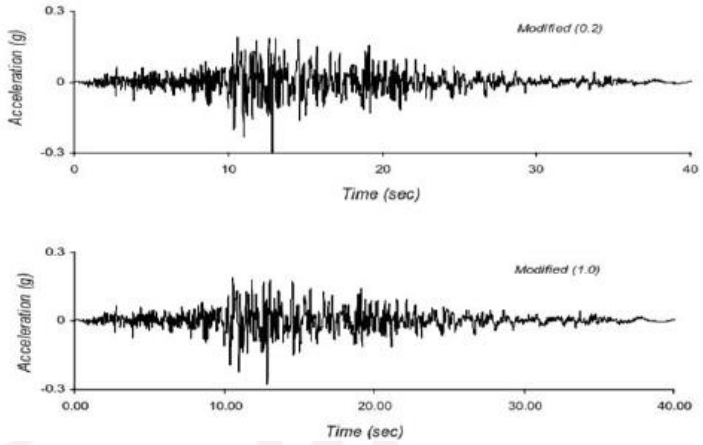
Gambar 2.9 Peta PGA Akibat Gempa Subduksi

2.8 Teguh, M., dan Purwono, B., (2011)

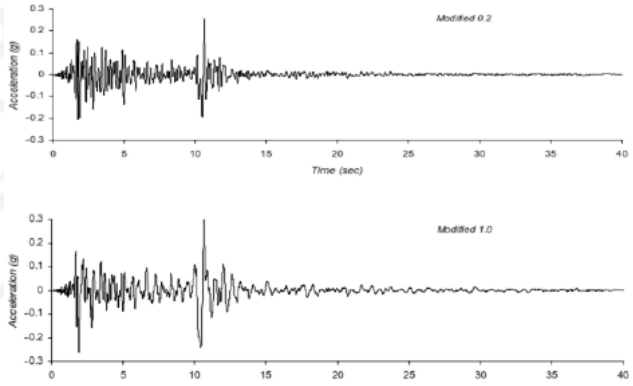
Teguh, M., dan Purwono, B., (2011) melaukan penelitian mengenai usulan getaran sintetik untuk wilayah Yogyakarta. Penelitian ini memperhitungkan nilai respon spektra pada periode ulang 500 tahun pada batuan dasar secara probalisti serta memperhitungan getaran tanah berdasarkan analisis deagregasi. Peneliatn tersebut menggunakan data gempa tahunn 2008, pemodelan gempa yang digunakan adalah model gempa daerah transformasi (*shallow crustal* dan *back arc*), dan gempa *megathrust* dan *benioff.* Fungsi pemodelan yang digunakan untuk spektra percepatan batuan dasar adalah fungsi bozorgnia untuk wilayah subduksi dan transformasi dan fungsi Young's. hasil penelitian pada **Gambar 2.10 – Gambar 2.12** menunjukkan bahwa penelitian tersebut sudah memperhitungkan data data *ground motion* yang sesuai untuk wilayah Yogyakarta tetapi dalam penelitian tersebut masih pada batuan dasar probabilitas 10% dan 50%.



Gambar 2.10 Rekaman modifikasi sumber gempa *benioff*



Gambar 2.11 Rekaman modifikasi sumber gempa *megathrust*



Gambar 2.12 Rekaman modifikasi sumber gempa *shallow crustal*

2.9. Keaslian Penulisan

Pada Tabel 2.1 di bawah ini disajikan rangkuman beberapa penelitian terdahulu yang membahas *seismic hazard:*

No.	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Bahasan Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
1.	Abdul L, *et al*	2015 2016	*Probabilistic Seismic-Hazard Analysis For Central Java Province, Indonesia*	1. Membuat peta kerawanan gempa bumi di Provinsi Jawa Tengah dengan probabilitas 10% dalam 50 tahun dan peta respon spektra 10% dalam 50 tahun.	1. Pada peta PGA menunjukkan bahwa tingkat kerawanan dengan parameter percepatan tanah (PGA) dalam 50 tahun menunjukkan bahwa kota Pati memiliki bahaya seismik tertinggi dengan PGA 0.45g, dan kota Kendal memiliki bahaya terendah dengan PGA 0.13g.	1. Data Gempa yang di gunakan dari tahun 1900-2011. 2. Pemodelan sesar (*fault*) opak, lasem, Pati. 3. Menggunakan data gempa USGS dan BMKG. 4. Peta yang disajikan hanya di batuan dasar.
2.	Asrurifak, *et al*	2012	Peta Deagregasi *Hazard* Gempa Indonesia Untuk Periode Ulang Gempa 2.475 Tahun	1. Peta deagregasi *hazard* gempa Indonesia disajikan dalam peta *mean-source magnitude* (M) dan *mean-source distance* (R) pada probablitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (gempa dengan periode ulang 2.475 tahun).	1. Hasil peneliatan meliputi peta dalam peta (M) dan (R) pada probablitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (gempa dengan periode ulang 2.475 tahun) yang tidak tersedia pada peta 2010	1. Data gempa yang digunakan hingga 2010. 2. Parameter jumlah sesar yang digunakan.

3.	Arifan Jaya, *et al*	2020	*Application of Modified PSHA USGS Software in Java Island Bed Rock Peak Ground Acceleration and Hazard Curve with 2475 Years Return Period*	1. Penggunaan software PSHA USGS pada batuan dasar *Peak GroundAcceleration* (PGA) 2% dalam 50 tahun.	1. Pengolahan penelitian menggunakan software PSHA USGS terdapat kesamaan dalam peta yang disajikan., kisaran maksimum PGA yang dihasilkan tidak terlalu jauh, di mana kisaran selisihnya adalah 0,3g.	1. Menggunakan data gempa dari USGS dan BMKG 2. Peta yang disajikan pada PGA 2% dalam 50 tahun.
4.	Muhaimin, *et al*	2016	Analisis Risiko Gempa Bumi di Cilacap Provinsi Jawa Tengah	1. Mengetahui tingkat kerentanan risiko gempa bumi di Kabupaten Cilacap. 2. Membuat peta pemetaan bahaya gempa bumi di Kabupaten Cilacap.	1. Nilai PGA bervariasi dari 0.405-0.494g, bahwa wilayah Kota Cilacap tergolong ke dalam kelas bahaya sedang. 2. Kerentanan wilayah tinggi pada Desa Tambakreja, Sidanegara, Donan, Tritih Kulon bagian selatan, Cilacap, Mertasinga, dan Kamulyan. 3. Analisis risiko tinggi apabila terdapat gempa menunjukkan bahwa kelas risiko tinggi di desa Lomanis, Tambakreja, Tritih Kulon, Sidanegara, Donan, Mertasinga, dan Cilacap	1. Menggunakan data gempa dari BMKG. 2. Wilayah penelitian di Kabupaten Cilacap.

					yang meliputi area seluas 3.237,40 ha.	
5.	Jimmy Nugraha, et al	2013	Analisis *Hazard* Gempa dan *Isoseismal* Untuk Wilayah Jawa-Bali-NTB	1. Menganalisis *hazard* gempa yang menunjukkan hasil nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar pada wilayah Jawa, Bali dan NTB pada kondisi P*eak Ground Acceleration* (PGA) probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun, 2. Membuat kurva *hazard* (*hazard curve*)	1. Nilai percepatan tanah maksimum PGA di batuan dasar Pulau Jawa, Bali dan NTB mempunyai nilai rentang dari 0,05 g - 0,5 g. 2. Untuk *hazard* gempa akibat fault mempunyai nilai rentang 0,05 g – 0,4 g. Untuk *hazard* gempa akibat subduksi nilai percepatan tanah maksimum mempunyai nilai rentang 0,05-0,6 g. 3. Hasil *isoseismal* dua kejadian gempaTasikmalaya 2 September 2009 dan 26 Juni 2010 menunjukkan daerah di selatan Pulau Jawa bagian barat mengalami guncangan yang cukup kuat sekitar VII - VIII MMI (0,25 g - 0,3 g) yang bersesuaian dengan peta *hazard* gempa hasil *combine source.*	1. Menggunakan data gempa dari BMKG 2. Data gempa yang digunakan dari tahun 1903-2010 3. Pemodelan subduksi dan fault yang digunakan.

6.	Urip N, *et al*	2018	Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Untuk Memetakan Risiko Bencana Gempa Bumi di Kab Pemalang Jawa Tengah	1. Mengetahui tingkat risiko gempa bumi di Kabupaten Pemalang Jawa Tengah 2. Membuat pemetaan nilai percepatan PGA 10%.	1. Hasil penelitian yang dilakukan pada nilai PGA di wilayah Kab Pemalang berdasarkan persamaan Fukushima-Tanaka (1990) dan data gempabumi tahun 1980 –April 2018 berkisar antara 13,89-34,44 gal. Klasifikasi tingkat resiko gempa bumi daerah penelitian berdasarkan nilai PGA termasuk dalam kategori rendah. 2. Hasil dari analisis menunjukkan sebaran nilai PGA berkisar antara 13.89-34.44 g, nilai terbesar pada daerah Kecamatan Watukumpul dan Kecamatan Moga 3. Klasifikasi tingkat risiko gempa bumi berdasarkan klasifikasi BNPB pada Kabupaten Pemalang berdasarkan Nilai PGA termasuk dalam katagori rendah dengan nilai <0.25 g.	1. Klasifikasi tingkat risiko bahaya gempa ditentukan berdasarkan nilai PGA yangerdasarkan pedoman peraturan kepala BNPB nomor 2 Tahun 2012. 2. Wilayah penelitian di Kabupaten Pemalang Jawa Tengah. 3. Data historis kejadian gempa dari tahun 1980-April 2018 yang berdasarkan data *international seismological Center/ISC*

7.	Windu P, *et al*	2018	*Seismic Hazard Analysis Study of New Semarang International Airport Due To Shallow Crustal Fault Earthquake Scenario*	1. Mengetahui bahaya seismik kawasan bandara karena berada pada 2 sumber seismik terdekat yaitu sesar semarang dan sesar lasem	1. Hasil analisis yang di lakukan adalah nilai Hasil MCE_R S_S dan S_1 diperoleh pada titik-titik koordinat bandara masing-masing adalah 0,7965 dan 0,3512 g. infrastruktur di dalam kawasan bandara yang di rancang menggunakan SNI 1726:2012 diperkirakan dapat menahan gempa dari sesar semarang dan sesar lasem yang berkekuatan 6,5 Mw dan jarak episentrum min 5 Km ke posisi bandara.	1. Pemodelan sesar (*fault*). 2. Menggunakan data gempa USGS dan BMKG. 3. Peta yang disajikan hanya di batuan dasar.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1.Teori Lempeng Tektonik

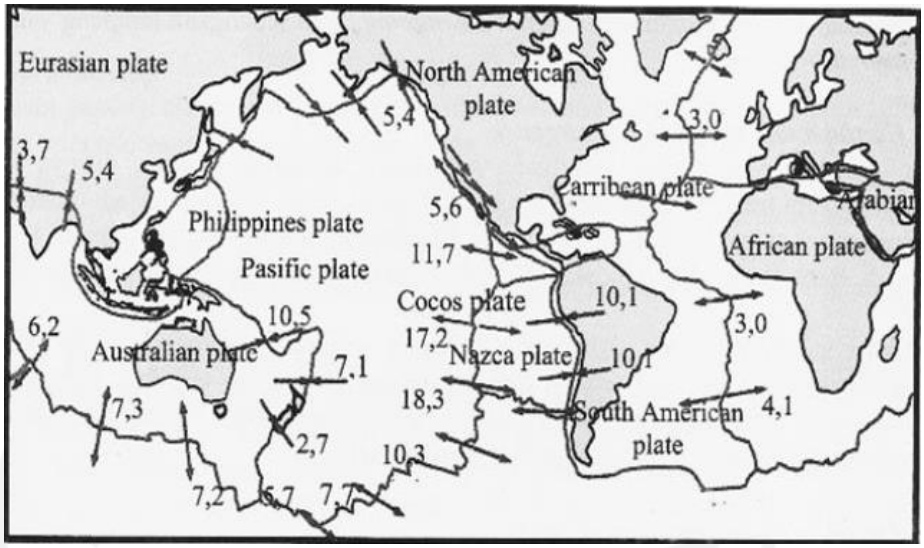
Teori lempeng tektonik dikembangkan guna menjelaskan sifat-sifat bumi yang dinamis yang disebabkan oleh gaya endogen yang dimana lapis *lithosphere* tidaklah lapisan yang masif dan homogen tetapi terdiri atas lapisan yang masif dan pecah-pecah (Sunardi, 2013). Pecahnya lapisan *lithosphere* disebabkan karena faktor penyusutan bumi akibat pendinginan luar dalam periode pembentukan lapisan bumi terjadi para arah tangensial dan radial serta kombinasi antara gaya gravitasi sehingga hasil dari interaksi lapisan ini cenderung tidak teratur pada bagian yang relatif lemah. Akibat retakan/pecahnya lapisan *lithosphere* terdapat pada lapis luar bumi sehingga membentuk lempeng-lempeng *lithosphere* yang dimana disebut lempeng tektonik (Widodo, 2012).

Dalam teori tektonik lempeng dinyatakan bahwa pada dasarnya kerak-bumi (*lithosphere*) terbagi dalam 13 lempeng besar dan kecil yaitu:

1. Lempeng Pasific *(Pasific plate)*
2. Lempeng Euroasia *(Eurasian plate)*
3. Lempeng India-Australia *(Indian-Australian plate)*
4. Lempeng Afrika *(African plate)*
5. Lempeng Amerika Utara *(North American plate)*
6. Lempeng Amerika Selatan *(South American plate)*
7. Lempeng Antartika *(Antartic plate)*

Serta beberapa lempeng kecil seperti:

1. Lempeng Nasca *(Nasca plate)*
2. Lempeng Arab *(Arabian plate)*
3. Lempeng Karibia *(Caribian plate)*
4. Lempeng Philippines *(Phillippines plate)*
5. Lempeng Scotia *(Scotia plate)*
6. Lempeng Cocos *(Cocos plate)*

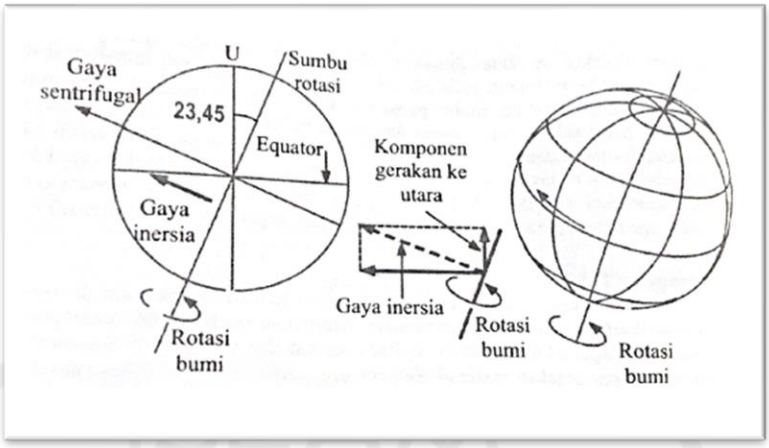


Gambar 3. 1 Arah dan Kecepatan Gerakan Lempeng Tektonik

(Sumber: Widodo, 2012)

3.1.1. Teori Continental Drift

Frank B Taylor (1860-1938) dari USA dan ahli meteorologi bangsa German Alfred Wagener (1880-1930) memperkenalkan asal mula teori *continental*, dalam teori ini menganggap bahwa benua yang ada saat ini dahulunya bersatu yaitu pangea dan satu samudera yaitu pathalasa. Terbentuknya super-kontinen pangea pada jutaan tahun yang lalu yang kemudian berinteraksi akibat gaya sentrifugal yang terjadi akibat dari rotasi bumi dan gaya *tidal force* gaya tarik antar planet sehingga menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang kemudian bermigrasi (*drifted*) ke posisi seperti saat ini. Super-kontinen pangaea terdapat bukti-bukti bahwa pada jutaan tahun yang lalu pangea terpecah kemudian mengalami pergerakan cenderung bergerak ke barat- ke utara secara perlahan ke arah/ menuju ekuator dan barat hingga mencapai posisi sekarang. Rotasi bumi yang mengakibatkan pergerakan kearah ekuator serta gaya tarik bumi dan planet merupakan faktor terjadinya pergerakan tersebut adanya gaya sentrifugal yang terjadi akibat adanya rotasi bumi sehingga terjadi.

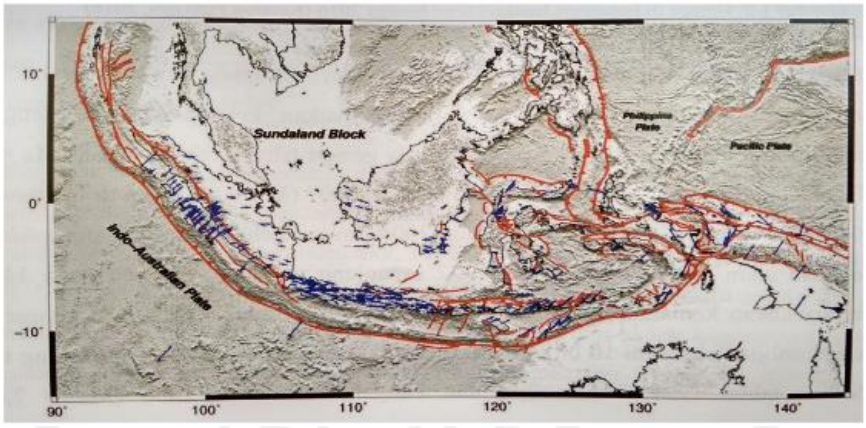


Gambar 3. 2 Arah Gerakan *Continent Drift*

(Sumber: Widodo, 2012)

3.1.2. Gambaran Kondisi Tektonik Indonesia

Secara geografis Indonesia terletak di antara 6° LU dan 11° LS serta 95° BT dan 141° BT, gambaran kondisi tektonik Indonesia sangat aktif, kopleks dari segi tektonik terbagi menjadi 2 bagian yaitu tektonik Indonesia bagian barat dan timur. Tektonik Indonesia bagian barat yang dominan oleh konvergensi Lempeng India-Australia dengan Lempeng Eurasia yang membentang di sepanjang barat Sumatera, arah konvergensi membentuk penunjaman yang relatif miring terhadap arah kelurusan palung, serta arah penunjaman lempeng hampir tegak lurus dan tektonik Indonesia bagian Timur lebih padat di sepanjang selatan Jawa, dibawah laut banda terdapat dua lempeng yang dominan yaitu dari selatan di Palung Timor dan Aru dan dari utara di Palung Seram, keduanya dipisahkan oleh Sesar Tarera-Aiduna (Bock et al., 2003). Pada **Gambar 3.3** zona penunjaman dari pertemuan antar lempeng sebagai sumber bencana gempa bumi, plat tektonik Indonesia yang terdiri dari tiga model plat tektonik besar adalah lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Terdapat tiga zona subduksi yang mengelilingi Indonesia, subduksi pertama adalah interaksi antara lempeng Pasifik dan Australia yang terjadi pada sekitar Pulau Papua. Subduksi kedua adalah interaksi antara lempeng Eurasia dan lempeng Australia terjadi di lepas pantai barat pulau Sumatera, lepas pantai selatan pulau Jawa, lepas pantai selatan kepulauan Nusa Tenggara, subduksi ketiga yang merupakan tumbukan antara ketiga lempeng tersebut yang terjadi di sekitar Sulawesi (Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017).

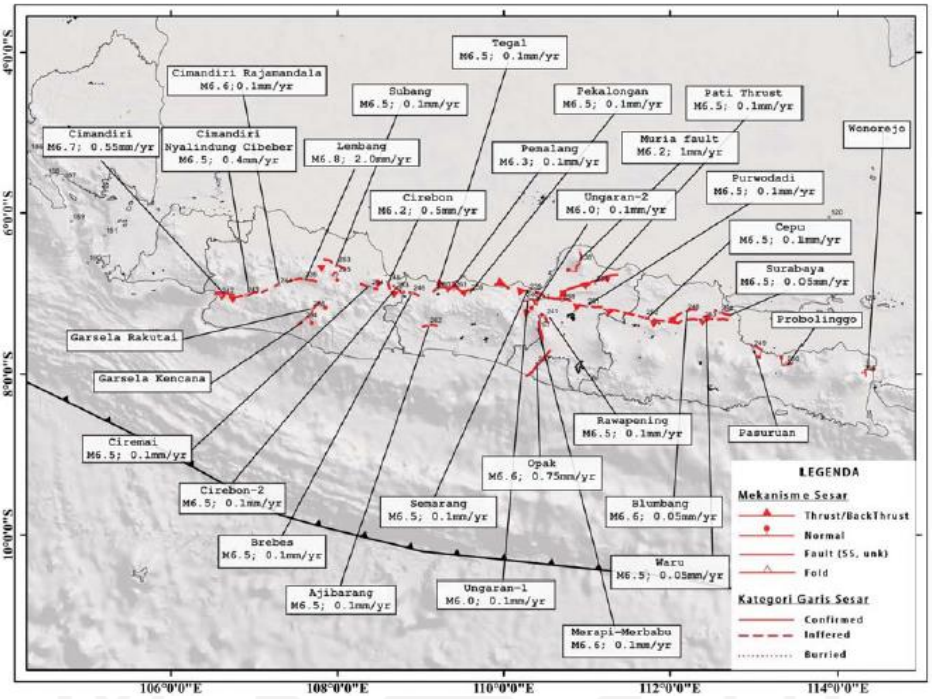


Gambar 3. 3 Peta tektonik wilayah Indonesia
(Tim Pusat Gempa Studi Nasional, 2017)

3.1.3 *Shallow Crustal Fault* di Pulau Jawa

Kondisi tektonik jawa dikontrol oleh besar dan arah *slip* antara lempeng Indo-Australia dan Eurasia di sepanjang Sunda *Arc* adalah konstan. Dalam kondisi seperti itu perubahan orientasi busur di dekat Selat Sunda memberikan perubahan yang besar rasio paralel terhadap normal *slip*. Menurut Hamilton (1979), dan Newcomb & McCann (1987), tidak ditemukan *fault* pada daerah lokal seperti pada sesar Sumatera juga terdapat di Jawa. Meskipun demikian, sejumlah peneliti lain telah melaporkan bukti adanya deformasi *right lateral strike-slip* di Jawa (Beca Carter Hollings &Ferner, 1978).

Di pulau Jawa sendiri terdapat 37 sesar jika sebelumnya hanya 10 sesar aktif. Hal tersebut menunjukkan bahwa teridentifikasi bertambahnya sesar aktif menimbulkan peningkatan *seismic hazard* di Indonesia (Pusgen, 2017). Sumber gempa subduksi terdiri dari zona *megathrust* dan *benioff*, zona *megathrust* terletak antara pertemuan lempeng lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia, zona *benioff* kelanjutan dari zona *megathrust* dengan sudut penunjaman yang relatif lebih besar. Sumber gempa subduksi yang digunakan adalah hingga kedalaman 50 km zona *megathrust*, sedangkan kedalaman di atas 50 km diakomodasi dalam sumber gempa *benioff*. Pemodelan sumber gempa dalam analisis *hazard*gempa wilayah Jawa ini menyesuaikan dengan spesifikasi yang dimiliki *software* SR Model, pemodelan sumber gempa dilakukan dengan melakukan interpretasi terhadap geologi, seismotektonik, geofisika berdasarkan katalog gempa yang digunakan.



Gambar 3.4 *Shallow crustal* di pulau Jawa
(Pusgen, 2017)

Tektonik lokal di pulau Jawa didominasi oleh tektonik tunjaman (subduksi) selatan Jawa. Akibat subduksi tersebut terbentuk struktur geologi regional di wilayah daratan Jawa. Susunan subduksi tersebut terletak di daratan Jawa bagian timur hingga Jawa bagian barat. Terdapat *Fault* di pulau Jawa yang terkenal aktif adalah Sesar Sesar Baribis, Cimandiri, Sesar Bumiayu, Sesar Semarang dan Sesar Opak, berikut penjelasanya:

1. Sesar Cimandiri

   Sesar Cimandiri terletak di Sukabumi Selatan, sesar yang aktif memanjang timur laut-barat daya nampak di sepanjang daerah yang cukup padat penduduk, seperti Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Cianjur, dan Padalarang. Abidin 2009 mengatakan Geotekno Lipi membagi sesar ini menjadi 5 segmen dari Pelabuhan Ratu sampai dengan Gandasoli, Kelima segmen tersebut adalah Pelabuhan Ratu-Citarik, Citarik-Cadasmalang, Ciceureum-Cirampo, Cirampo-Pangleseran, Pangleseran-Gandasoli.

2. Sesar Baribis

   Sesar Baribis terletak di Jawa Barat dan salah satu sesar naik utama yang berkembang di Jawa Barat, pertama kali diperkenalkan oleh Van Bemmelen (1949), penamaan sesar diambil nama perbukitan Baribis di daerah Kadipaten, Majalengka, Jawa Barat. Bemmelen, 1949 mengatakan Jejak-jejak struktur sesar tersebut dapat diamati sepanjang kurang lebih 70 km, mulai dari Subang hingga ke daerah perbukitan Baribis, sebelah barat Gunung Ciremai. Peneliti lain yang pernah membahas Sesar Baribis adalah Martodjojo (1984) dan Simandjuntak (1994), dari hasil penelitian memberikan kesimpulan yang berbeda baik tektonik regional yang melatar belakangi pembentukan Sesar Baribis maupun jalur sesarnya. Menurut Martodjojo (1984) menjelaskan bahwa jalur Sesar Baribis di bagian timur (Daerah Kadipaten) berbelok ke arah tenggara dan menerus hingga tenggara, sedangkan menurut Simandjuntak (1994), jalur Sesar Baribis menerus ke arah timur hingga ke Nusa Tenggara Barat.

3. Sesar Bumiayu

   Sesar Bumiayu terletak di ujung timur laut Jawa Barat yang berbatasan dengan provinsi Jawa Tengah sering menimbulkan kejadian gempa bumi, seperti kejadian gempa di Bantar Kawung. Kertapati dkk., 2006 mengatakan mekanisme sesar Bumiayu berupa *reverse fault* dengan sudut kemiringan sebesar 90, *slip rate* sebesar 2 mm/tahun.

4. Sesar Semarang

   Sesar Kaligarang terletak di Semarang yang membelah kota Semarang pada arah utara – selatan yang sudah berlangsung lama. Pada zaman Plio-Plistosen area sesar Kaligarang sudah terbentuk dengan pergerakan sesar geser mengiri. Tektonika pada zaman tersebut yang mempunyai sudut dengan bagian tengah persis sesar dari arah sesar dari timur laut ke barat daya yang mengakibatkan pergeseran hingga saat ini. Namun pada saat ini sesar teraktifkan kembali, pengaktifan kembali sesar ini diakibatkan sudut dengan bagian tengah persis di tengah sesar dari sesar yang berarah relatif barat laut - tenggara.

5. Sesar Opak

   Kejadian gempa bumi yang terjadi pada Mei 2006 di Yogyakarta dan Jawa Tengah merupakan akibat interaksi 2 lempeng antara lempeng Indo-Australia

dengan lempeng Eurasia. Kejadian gerakan sekitar 4-6 cm per tahun, secara umum lempeng tektonik Indo-Australia adalah lempeng Samudra, masuk ke lempeng Eurasia yang adalah lempeng daratan. Dalam satu waktu, ada beberapa bagian wilayah yang berinteraksi sehingga batas elastisitasnya terlampaui lalu melentingkan kembali lempeng yang saling berinteraksi menimbulkan gempa di Yogyakarta dan sekitarnya. Gempa dengan kekuatan menengah seperti di Yogyakarta seharusnya tidak berpotensi merusak hanya saja gempa itu ikut mengaktifkan sesar atau patahan Opak yang terletak beberapa kilometer di arah Barat Daya episenter gempa. Disebut patahan Opak karena arahnya memanjang ke utara mengikuti kelokan-kelokan Sungai Opak. Patahan ini sebenarnya sudah tidak aktif lagi. Letaknya terjepit antara batuan tua dan batuan vulkanik muda. Batuan tua terletak di Timur dan batuan vulkanik muda di Barat. Batuan vulkanik muda ini meliputi daerah DIY dan Jawa Tengah wilayah Barat, termasuk Gunung Merapi.

3.1.4 Kondisi Geologi Jawa Tengah

Kondisi geologi Jawa Tengah dapat memiliki efek tinggi terhadap karakteristik gerakan tanah. Respon gerakan tanah pada masing-masing lokasi dapat bervariasi, sesuai dengan geologi lokal. Fisiografi Jawa Bagian Tengah terbagi atas enam zona fisiografi menurut Van Bemmelen (1949) yaitu:

1. Zona Dataran Aluvial Pantai Utara Jawa
2. Zona Depresi Semarang – Rembang
3. Zona Rembang
4. Zona Depresi Randublatung
5. Zona Kendeng
6. Zona Depresi Tengah/Zona Solo
7. Zona Pegunungan Selatan



Gambar 3.5 Fisiografi Jawa Tengah

Van Bemmelen (1949) mengklarifikasikan Jawa Tengah dan Jawa Timur menjadi tujuh zona fisiografi, dari utara ke selatan yaitu zona Semarang-Rembang merupakan dataran yang terletak diantara Semarang dan Rembang. Zona Rembang yang ke arah selatan terhubung dengan Randublatung dibatasi oleh sesar kujung yang terletak di utara dibatasi oleh paparan laut jawa utara ke arah Selatan, Semarang-Pati arah barat menuju arah timur terhubung dengan bagian utara Madura. Zona Randublatung yang terletak daerah lembah terhubung dengan bagian tengah membagi zona kendeng dengan zona rembang. Gunung ungaran yang terhubung oleh zona kendeng di bagian barat menuju ke arah timur terhubung sampai ke sungai brantas. Gunung api kuarter merupakan bagian dari endapan kuarter Depresi tengah/zona Solo. Zona pegunungan selatan, terletak di selatan Yogyakarta dengan lebar kurang lebih 55 km, membentang dari wilayah Jawa Tengah, hingga Jawa Timur dengan lebar kurang lebih 25 km, yang terletak di selatan Blitar. Zona pegunungan selatan terbagi menjadi tiga sub zona, yaitu: sub zona Wonosari, zona Baturagung, dan sub zona gunung sewu (Iftichatul, 2012). zona gunung api Kuarter, terbagi atas gunung - gunung berumur kuarter, seperti: gunung Ungaran, Sumbing, Merbabu, Merapi. Secara regional merupakan terusan atas dari cekungan Bogor dari cekungan Serayu Utara yang terletak di Jawa Barat dan Zona Kendeng di Bagian Timur. Jalur yang membentang di pulau Jawa ini disebut Bogor - North Serayu - Kendeng Anticlinorium (Bemmelen, 1949).

3.2 Penyebab Terjadinya Gempa

Gempa bumi adalah satu fenomena alam dimana goncangan atau goyangan tanah dikarenakan adanya pelepasan energi (tumbukan, gesekan, tarikan) secara tiba-tiba yang terakumulasi di bawah permukaan bumi dengan cara menyebar kesegala arah pada media tanah. Tenaga tektonik di dalam bumi mungkin saling menekan dan saling menumbuk, menggeser, menarik yang akan mengakibatkan terjadinya akumulasi energi pada batuan secara perlahan, yang akan mengalami regangan. Saat pelepasan energi yang akan terjadi saat gempa, akan timbul beberapa gelombang energi yang dilepaskan dan dikeluarkan melewati bumi lalu menyebar kesegala arah pada media tanah. Gelombang tersebut merupakan gelombang seismik, yang dimana merupakan hasil dari goncangan/ goyangan yang terjadi saat gempa bumi. (Carlson, Plummer dan McGeary, 2008).

3.2.1 Klasifikasi Gempa

Klasifikasi gempa berdasarkan penyebab terjadinya gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam antara lain:

1. Gempa Tektonik (*Tectonic Earthquake*).

Aktivitas pergerakan lempeng tektonik lempeng baik skala regional maupun global merupakan ciri-ciri erat dari gempa tektonik. Menurut Widodo 2012, gerakan lempeng tektonik dapat saling bertemu *(convergent)*, saling menggeser *(shear)*, salik tarik *(tension)* maupun kombinasi diantaranya. Apabila ada interaksi antar pelat yang saling membentur, menggeser, menarik yang akan mengakibatkan terjadinya akumulasi energi yang terkumpul. Gempa tektonik umumnya lebih besar dibandingkan dengan jenis gempa-gempa lainnya.

2. Gempa Vulkanik (*Vulcanic Earthquake*).

Gempa vulkanik terjadi akibat aktivitas vulkanik gunung dari panas dan tekanan dari dalam bumi api akibat sebelum maupun saat meletusnya gunung berapi. Magma yang terkumpul di dalam kantong bawah gunung api akan keluar sehingga dapat menimbulkan ledakan menimbulkan getaran tanah yang ditimbulkan dari keluarnya magma tersebut menyerupai gempa walaupun intensitasnya lebih kecil dari gempa tektonik.

3. Gempa bumi runtuhan

Gempa bumi yang terjadi pada daerah kapur, daerah pertambangan, gua karena akibat faktor keruntuhanya terjadi baik di atas maupun di bawah permukaan tanah yang mengakibatkan getaran pada tanah. Gempa bumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal, contohnya: tanah longsor, salju longsor, jatuhan batu dan lain-lain.

Berdasarkan kedalaman Fowler (1990) telah mengklasifikasikan gempa sebagai berikut:

1. Gempa dangkal : <70 km
2. Gempa menengah : < 300 km
3. Gempa dalam : >300 km (kadang-kadang > 450 km).

Menurut Ginanjar (2008), mengklasifikasikan jenis gempa menjadi tiga sumber gempa berdasarkan waktu, yaitu:

1. Gempa Utama (*mainshock*).

Gempa utama merupakan gempa bumi dengan magnitudo terbesar yang terjadi akibat terkumpulnya energi/interaksi pada lempeng dan mengalami goncangan awal akibat deformasi antar lempeng.

2. Gempa Susulan (*aftershock*).

Gempa susulan merupakan gempa yang terjadi setelah datangnya gempa Gempa Utama (*mainshock*), frekuensi dan magnitude gempa akan menurun seiring dengan waktu, berulang hingga waktu tertentu.

3. Gempa Pendahuluan (*foreshock*)

Gempa pendahuluan cenderung lebih memiliki skala magnitude yang lebih kecil karena gempa bumi ini terjadi sebelum kejadian gempa utama dan terjadi di wilayah yang sama dengan gempa utama.

3.2.2 Magnitude Gempa

Metode perhitungan magnitude gempa dikemukakan oleh K. Wadati dan C. Richter sekitar tahun 1930 (Lay and Wallace, 1995). Magnitude gempa adalah sebuah skala besaran yang menyatakan skala kekuatan relatif gempa yang merupakan hasil dari pengukuran fase amplitude berdasarkan ukuran logaritmik dari kekuatan gempa. Terdapat empat jenis magnitude yang digunakan yaitu:

1. Magnitude lokal (ML)

Metode perhitungan magnitude lokal dikemukakan oleh Charles Richter di awal tahun 1935 dengan menggunakan data kejadian gempa di daerah California dengan

jarak episenter <100 km menggunakan alat seimometer. Perhitungan dapat dilakukan dengan mengetahui jarak episenter ke seismograph dan hasil pengukuran dengan magnitude lokal berdasarkan logaritma amplitude maksimum dari sinyal yang tercatat di seismograph maka dapat dilakukan pendekatan untuk mengetahui besarnya gempa yang terjadi. Saat ini penggunaan ML sangat jarang karena pemakaian seismograph Woods-Anderson tidak terlalu akurat. Persamaan untuk mendapatkan nilai M_L:

$$M_L = \log A - 2.48 + 2.76 \log \Delta \quad (3.1)$$

dengan :

A = Aamplitudo maksimum gerakan tanah (μm)

Δ = Jarak dari stasiun ke pencatat sumber gempa (km)

2. Magnitude Body (Mb)

Metode perhitungan magnitude body/ gelombang badan dikemukakan oleh Gutenberg pada tahun 1945 yang didapat berdasarkan jumlah total energi gelombang elastis yang di kirim dalam bentuk gelombang P dan S. Menurut Lay and Wallace, 1995 gelombang body adalah rekaman amplitude dari gelompang P yang di transfer dari dalam bumi. Kemudian persamaannya sebagai berikut.

$$Mb = \log.A - \log.T + 0.01\,\Delta + 5.9 \quad (3.2)$$

dengan :

A = amplitudo gelombang primer (μm)

T = periode, gelombang primer (detik)

Δ = jarak dari stasiun ke pencatat sumber gempa (km)

3. Magnitude Surface (Ms)

Metode perhitungan magnitude surface dikemukakan oleh Gutenberg dan Richter pada tahun 1936 berdasarkan jumlah total energi gelombang love (L) dan gelombang *Rayleigh* (R), dengan asumsi hiposenter dangkal <30 km dan amplitude maksimum terjadi pada periode 20 detik, jarak episenter lebih dari 600 km seismogram periode panjang (*long-period seismogram*) dari gempa dangkal didominasi oleh gelombang permukaan dengan persamaan:

$$Ms = \log.A_{20} + 1.66.\text{Log. } \Delta + 2.0 \quad (3.3)$$

dengan :

A_{20}= amplitudo gelombang permukaan (mm per 20 detik),

Δ = jarak episenter dari seismometer (km)

4. Magnitude Moment (Mw)

Magnitude Moment adalah skala gempa ukuran secara langsung menghubungkan sifat fisik dari sumber (Mo) dengan magnitude gempa bumi. Dimana Mo adalah momen seismik yang dapat diestimasi dari dimensi pergeseran bidang sesar atau dari analisis karakteristik gelombang gempa yang direkam di stasiun pencatat khususnya dengan seismograph periode bebas (*broadband seismograph*). Masalah saturasi untuk gempa-gempa besar dan kuat, memotivasi pengembangan magnitude momen oleh Kanamori (1977) yang dirumuskan menjadi persamaan berikut.

$$Mw = \frac{Log.Mo}{1.5} - 10.73 \qquad (3.4)$$

dengan :

Mo = seismic moment (dyne-cm)

Menurut hasil penelitian terdahulu, magnitude gempa dapat pula dihitung dengan masukkan faktor kerusakan yang berupa panjang keruntuhan, area keruntuhan dan perpindahan akibat gempa yang terjadi (Wells and Coppersmith, 1994).

3.3 Intensitas Gempa

Menurut Ibrahim dkk, 2005 Intensitas gempa adalah besaran kerusakan dampak akibat gempa bumi di lokasi tertentu berdasarkan hasil pengamatan efek gempa terhadap manusia dan infrastruktur. Perhitungan intensitas gempa digunakan untuk mengukur kekuatan gempa selain dengan perhitungan *magnitude*. *Magnitude* merupakan hasil besarnya energi yang terkumpul lalu dilepaskan oleh gempa bumi pada sumbernya sedangkan intensitas adalah besaran kerusakan dampak yang diakibatkan oleh gempa bumi yang terlihat secara makroseismik di lokasi tertentu. Intensitas gempa juga dapat diperhitungakan untuk memperkirakan strong ground motion dan membandingkan pengaruh gempa bumi pada wilayah geografis yang berbeda. Skala intensitas yang pertama kali adalah skala intensitas *Rossi-Forel*, yang mempunyai 10 (sepuluh) derajat skala. Kemudian diperbaiki oleh Wood dan Neumann di Amerika pada tahun 1931, dan selanjutnya disebut skala Modified Mercalli (skala MMI) dan dinyatakan dalam angka romawi.

3.4 Identifikasi Sumber Gempa

Identifikasi sumber gempa adalah suatu sumber gempa menggambarkan potensi suatu daerah tertentu terhadap akibat lempeng yang memiliki karakteristik aktivitas gempa yang berbeda terhadap lempeng di sekitarnya. Menurut pergerakan lempeng tektonik relatif satu dengan yang lainnya menghasilkan tiga jenis pertemuan lempeng yaitu:

1. Batas Transformasi (*Transform Boundaries*)

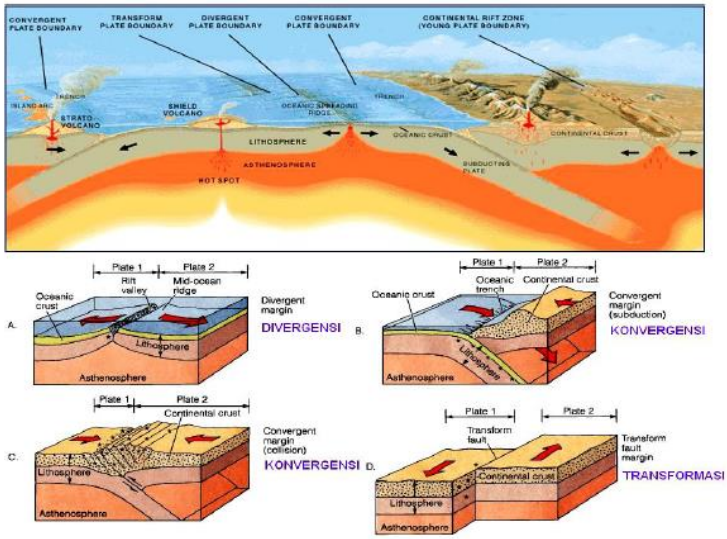
Transform Boundaries terjadi akibat dua lempeng bergerak horisontal saling bergeser satu sama lain (*slide each other*) yang tidak membentuk kerak baru/ penelanan kerak lama di sepanjang sesar transform, sejajar namun berlawanan arah, dan mengalami perpapasan dan gesekan antar lempeng secara. Contohnya adalah sesar Sumatra di Pulau Sumatera.

2. Batas Divergen (*Constructive Boundaries*)

Constructive Boundaries terjadi pada batas pertemuan lempeng tektonik yang bergesekan saling menjahui antar lempeng. Akibat terpecahnya lempeng tektonik mengakibatkan lapisan litosfer menipis dan terbelah membentuk batas divergen. Aktivitas divergen bisa di terjadi pada lempeng benua dan samudera, aktivitas pada lempeng benua menyebabkan terbentuknya lembah retakan (*rift valley*), sementara pada lempeng samudera terjadi proses yang menyebabkan pemekaran dasar laut (*seafloor spreading*). Contoh zona divergen yang paling terkenal adalah mid-atlantic ridge yang membujur dari utara ke selatan di Samudra Atlantik, membatasi Benua Eropa dan Afrika dengan Benua Amerika.

3. Batas Konvergen/Destruktif (*Destructive Boundaries*)

Destructive Boundaries terjadi akibat dua lempeng tektonik tertelan (*consumed*) ke arah kerak bumi saling berinteraksi saling bertabrakan mengakibatkan lempeng-lempeng tersebut bergerak saling menumpu satu sama lain (*one slip beneath another)*, aktivitas tersebut disebut subduksi merupakan aktifitas plate yang satu akan mengusup di bawah plate (*downgoing plate*) yang lainnya, sedangkan yang di atas disebut (*overriding plate*). Zona tunjaman (*subduction adalah zona/* wilayah dimana suatu lempeng samudera terdorong ke bawah lempeng benua atau lempeng samudera lain, di zona *subduction* tunjaman inilah sering terjadi gempa..



Gambar 3.6 Model Plat Tektonik Indonesia.
(Sumber : Bock et al, 1996)

3.5 Pemodelan Sumber Gempa

Zona sumber gempa adalah suatu area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama terjadinya gempa dimasa mendatang (Sunardi, 2013). Model sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempa dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat bahaya gempa. Batasan pemodelan suatu zona sumber gempa yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kedalaman sumber gempa dibatasi hingga 300 km.
2. Jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dibatasi hingga 500 km.
3. Fungsi atenuasi yang digunakan untuk tiap-tiap model adalah fungsi atenuasi yang dianggap sesuai dengan karakteristik kegempaan dan model sumber gempa wilayah Indonesia.

Pemodelan sumber gempa dapat di modelkan berdasarkan interpretasi terhadap kondisi seismotektonik yang diketahui dari data geologi, geofisika dan seismologi. Model sumber gempa dapat diklasifikasikan dalam tiga (3) macam:

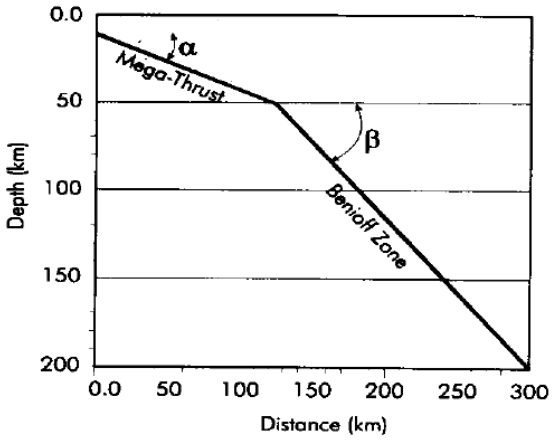
1. Sumber Gempa Subduksi

Berdasarkan pemodelan subduksi ter-*update* pada peta *hazard* Indonesia 2017, pada segmen Jawa dibagi menjadi tiga segmen yaitu segmen selat Sunda-Banten, Segmen Jawa Barat, dan Segmen Jawa Tengah-Jawa Timur (Pusgen 2017) terdapat pada Gambar 3.7.

Kejadian gempa akibat gempa subduksi meliputi *thrust fault, normal fault, reverse slip* dan *strike slip* yang terjadi disepanjang pertemuan lempeng. Zona subduksi dibagi menjadi zona megathrust/interplate dan zona benioff / intraslab. Zona megathrust berada pada kedalaman kurang dari 50 km dan zona benioff pada kedalaman lebih dari 50 km Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Segmentasi Megathrus



Gambar 3.8 Model Zona Subduksi, Terdiri dari Zona Megathrust dan Benioff (Crouse, 1992).

2. Sumber Gempa Patahan (*Shallow Crustal*)

Pemodelan *shallow crustal* meliputi kejadian gempa patahan lokal, pemodelan zona gempa meliputi arah, panjang patahan, koordinat serta posisi kedalamannya. *Shallow Crustal* disebut sebagai model sumber gempa tiga dimensi karena dalam perhitungan probabilitas jarak, yang dilibatkan adalah jarak dari site ke hiposenter.

3. Sumber Gempa Background

Model gempa *background* adalah sumber gempa yang belum diketahui secara jelas cocok untuk wilayah yang sesar atau patahan belum teridentifikasi dengan jelas namun daerah tersebut memiliki sejarah kejadian gempa.

3.6 Karakterisasi Sumber Gempa Bumi

Persamaan matematis ditunjukkan karakteristik sumber gempa yaitu dalam distribusi frekuensi kejadian gempa untuk setiap magnitude dari masing-masing sumber gempa. Distribusi ukuran gempa di zona sumber pada periode tertentu diperhitungkan dengan hukum pengulangan kejadian (*recurrence law).* Terdapat beberapa metode *reccurence law* yang digunakan dalam analisis *seismic hazar*d, diantaranya adalah *Gutenberg-Richter recurrence law* dan *characteristic recurrence law*.

Frekuensi kejadian gempa diperlukan untuk analisis kegempaan agar mendapatkan karakteristik sumber gempa yang di tampilkan dalam parameter sumber gempa. Parameter sumber gempa tersebut meliputi parameter a-b dan magnitude maksimum. Model matematik yang digunakan adalah *truncated exponential* dan *characteristic* untuk mendapatkan parameter a-b (Irsyam, 2010).

3.6.1 Magnitude Maksimum

Magnitude maksimum adalah gambaran gempa terbesar yang diperkirakan dapat terjadi pada suatu wilayah, nilai magnitude maksimum dapat ditentukan berdasarkan gempa terbesar yang pernah terjadi di wilayah yang berdasarkan hasil penelitian berdasarkan hasil perhitungan geofisika atau para ahli untuk kondisi tektonik dan pergeseran batuan wilayah yang di tinjau. Apabila perbandingan waktu antara periode pengamatan cukup lama dengan periode ulang gempa maksimum yang mungkin terjadi maka dalam menggunakan magnitude historis maksimum. Namun, dapat juga dipertimbangkan magnitude maksimum berdasarkan perkiraan momen seismik akibat struktur tektonik dan pergeseran batuan suatu wilayah (Fauzi, UJ., 2011).

3.6.2 Penentuan Parameter α Berdasarkan *slip-rate*

Menurut Shah, H. C, *et al* 1996 dalam Wibowo, 2013, parameter α dan rate (v) pada hukum Guternberg-Richter dapat ditentukan berdasarkan berdasarkan *slip-rate* gerakan fault. Prosedur untuk menentukan nilai parameter adalah sebagai berikut:

1. Tentukan *magnitude* maksimum (dapat dilakukan dengan formula *Well* dan *Coppersmith*, 1994)

   $$Mmax = 5{,}08 + 1{,}16 \,.\, \text{Log Lf} \qquad (3.4)$$

2. Hitung periode ulang *magnitude* maksimum dalam kaitannya dengan *sliprate*. Digunakan formula *Well* dan *Coppersmith* (1994)

   $$Tmax = \frac{1000}{\text{sliprate}} \text{ x } 10(-5{,}46+0{,}82\ Mmax) \qquad (3.5)$$

3. Perkiraan nilai parameter atau , setelah itu nilai parameter atau dihitung menggunakan hukum Guternberg-Richter sebagai berikut.

   $$a = -b.Mmax - Tmax \qquad (3.6)$$

   atau

   $$a = -b.Mmax - \ln.Tmax \qquad (3.7)$$

4. *Rate* (*recurrence rate*) kejadian gempa tertentu dihitung berdasarkan parameter a atau α dan b atau β yang sudah diketahui di atas dengan persamaan sebagai berikut.

   $$V = 10^{a-bmo} \qquad (3.8)$$

   atau

   $$V = \exp(a - b.m_o) \qquad (3.9)$$

3.6.3 *Annual Rate dan b-Value*

Model berulangan yang banyak digunakan adalah model eksponensial yang diekspresikan dengan garis-b dari Gutenberg-Richter (1944) melakukan studi terhadap kumpulan data untuk California selatan. *Gutenberg-Richter* mendefinisikan tentang "laju tahunan rata-rata terlampaui" (*the mean annual rate of exceedamce*). Nilai logaritma versus magnitude M selanjutnya di plot, hasil ploting ini akan memberikan bentuk hubungan yang mendekati linier.

3.6.4 *Characteristic Recurrence Law*

Menurut Ariwibowo (2014), *Characteristic Recurrence Law* dikembangkan mengingat PSHA penggunaanya dilakukan untuk wilayah yang luas dan lokasi tertentu sehingga karakteristik geologis dari patahan tunggal sangat menentukan hasil PSHA yang dihitung. Studi paleoseismik menyebutkan bahwa setiap lokasi pada setiap segmen patahan cenderung bergerak dengan jarak yang sama pada setiap gempa yang terjadi. Dengan analisis tersebut dapat disimpul kan patahan tunggal yang terjadi terus menerus akan menghasilkan gempa dengan ukuran sebesar 1,5 kali magnitude maksimum di dekat atau pada magnitude maksimum tersebut.

3.7 Fungsi Atenuasi

Penilaian bahaya gempa dapat ditampilkan dalam dua bentuk yaitu secara deterministic dan parameter M dan R, cara deterministic dengan mengambil skenario nilai gempa tertentu dan secara probabilistik yang mengambil semua gempa dengan kemungkinan keberulangannya secara khusus. Cara kedua adalah model persamaan matematika sederhana yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa (Magnitude M dan jarak R) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) di lokasi yang ditinjau (Campbell, 2008).

Beberapa cara untuk menurunkan model atenuasi diantaranya didasarkan pada analisis statistik dan gerakan tanah terekam yang didapatkan dari hasil perekaman alat accelerograph pada kejadian gempa terjadi. Model atenuasi yang telah didapat dari penurunan ini dapat diperbarui ketika data rekaman gerakan tanah terbaru telah tersedia. Bentuk updating terhadap beberapa fungsi atenuasi yang ada telah dapat dilihat dengan munculnya model atenuasi tahun 2006/2007 dalam kelompok *Next Generation Attenuation* (NGA). Model atenuasi yang termasuk dalam kelompok NGA antara *lain Boore and Atkinson* (2006), *Chiou and Youngs* (2006), *Campbell dan Bozorgnia* (2006), *Abrahamson dan silva* (2007), *Idriss* (2007), dan *Boore and Atkinson PEER-NGA* (2007).

Karena memang belum ada fungsi atenuasi yang diturunkan berdasarkan geempa-gempa di Indonesia, maka pemakaian fungsi atenuasi dari negara lain dapat digunakan. Penentuan penggunaan fungsi atenuasi didasarkan pada rentang deviasi yang kecil serta diturunkan mekanisme gempa yang mirip dengan kondisi

seismotektonik di Indonesia. Fungsi atenuasi dikelompokkan berdasarkan mekanisme sumber gempa subduksi dan shallow crustal.

Pada penelitian ini, fungsi-fungsi atenuasi yang digunakan merupakan fungsi atenuasi yang terdapat dalam program SR Model. Fungsi-fungsi atenuasi tersebut dikelompokkan berdasarkan mekanisme sumber gempanya, yaitu :

1. Fungsi atenuasi untuk sumber gempa subduksi.
2. Fungsi atenuasi untuk sumber gempa *shallow crustal*.

Berikut merupakan penjelasan singkat mengenai fungsi atenuasi yang digunakan untuk sumber gempa subduksi dalam subsub bab 3.7.1 dan 3.7.2, untuk fungsi atenuasi untuk sumber gempa *shallow crustal* dalam subsubbab 3.7.3 dan 3.7.4

3.7.1 Fungsi Atenuasi Atkinson-Boore (2007)

Fungsi atenuasi Atkinson – Boore (2007) atau NGA B-A (2007) merupakan atenuasi yang dikerjakan dengan atenuasi A-S (2007) yang disusun berdasarkan ribuan data gempa dangkal di daerah tektonik aktif (Widodo, 2012). Hubungan atenuasi gempa dangkal dan gempa subduksi diturunkan atas dasar hasil kompilasi database respon spektra dari ratusan catatan gerakan kuat kejadian gempa dengan momen magnitude Mw = 5 sampai dengan 8.3 yang terjadi pada zona subduksi di seluruh dunia, termasuk di dalamnya kejadian interface dan intraslab (Asrurifak, 2011). Jumlah data yang besar tersebut dapat memperbaiki hasil penurunan parameter atenuasi dan penskalaan magnitude. Bentuk dari fungsi atenuasi Atkinson – Boore (2003) seperti yang pada persamaan, gambar dan tabel di bawah.

$$Log.Y = fn(M) + c_3h + c3h - g.log.R + c_5.S_1.S_c + c_6.S_1.S_D + c_7S_1S_E \quad (3.5)$$

$$fn(M) = c_1 + c_2.M \quad (3.6)$$

$$R = \sqrt{D.fault^2 + \Delta^2 +}$$

dengan :

M = moment magnitude,
M 8,5 untuk *interface events* dari M>8,5
M 8,0 untuk *intraslab events* dari M≥8

h = focal depth dalam km, gunakan h=100 km untuk event dengan kedalaman > 100 km.

D_{fault} = jarak terdekat ke permukaan fault dalam km

Δ = $0.00724 \times 10^{0.507M}$

S_C = 1 untuk NEHRP jenis soil C (360<β≤760 m/sec), lainnya 0

S_D = 1 untuk NEHRP jenis soil D (180<β≤360 m/sec), lainnya 0

S_E = 1 untuk NEHRP jenis soil E (β<180 m/sec), lainnya 0

g = $10^{(1.2-0.13M)}$ untuk kejadian *interface* dan

g = $10^{(0.301-0.01M)}$ untuk kejadian *intraslab*

1 untuk ≤ 100 cm/ atau frek ≤ 1 Hz

1-(f-1)(-100)/400 untuk 100 < < 500 cm/ (1Hz ≤f≤ 2 Hz)

S_I = 1-(f-1) untuk ≥ 500 cm/ atau (1Hz ≤f≤ 2 Hz)

1-(-100)/400 untuk 100 < < 500 cm/ (f ≥ 2 Hz & PG

0 untuk ≥ 500 cm/ ( )

PGA_{rx} = PGA perkiraan pada batuan (NEHRP tanah B) dalam cm/dt.

Tabel 3.1 Koefisien-Koefisien Persamaan Atenuasi Atkinson – Boore (2007)

Interface Event															
Period	Source Type	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Itype	PGArx C1	PGArx C2	PGArx C3	PGA rx C4	Sigma (log(y)	Average
PGA	Subduction	-0,201	0,035	0,008	-0,002	0,19	0,24	0,29	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,23	0,29625
0,04	Subduction	-0,391	0,071	0,01	-0,003	0,15	0,2	0,2	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,26	
0,1	Subduction	-0,491	0,098	0,01	-0,003	0,15	0,23	0,2	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,27	
0,2	Subduction	-0,451	0,124	0,009	-0,003	0,15	0,27	0,25	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,28	
0,4	Subduction	-0,491	0,148	0,007	-0,002	0,13	0,37	0,38	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,29	
1	Subduction	-0,811	0,135	0,005	-0,001	0,1	0,3	0,55	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,34	
2	Subduction	-0,661	0,071	0,002	0	0,1	0,25	0,4	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,34	
3,03	Subduction	-0,631	0,022	0,001	0	0,1	0,25	0,36	0	-0,2	0,03525	0,0076	-0,00206	0,36	
Intraslab Event															
PGA	Subduction	-3,241	0,691	0,011	-0,002	0,19	0,24	0,29	1	-3,24	0,6909	0,0113	-0,00202	0,27	0,28125
0,04	Subduction	-2,761	0,633	0,013	-0,002	0,15	0,2	0,2	1	-3,24	0,6909	0,0113	-0,00202	0,25	
0,1	Subduction	-2,831	0,667	0,011	-0,002	0,15	0,23	0,2	1	-3,24	0,6909	0,0113	-0,00202	0,28	
0,2	Subduction	-2,591	0,692	0,006	-0,002	0,15	0,27	0,25	1	-3,24	0,6909	0,0113	-0,00202	0,28	
0,4	Subduction	-3,001	0,773	0,002	-0,002	0,13	0,37	0,38	1	-3,24	0,6909	0,0113	-0,00202	0,28	
1	Subduction	-3,971	0,879	0,001	-0,002	0,1	0,3	0,55	1	-3,24	0,6909	0,0113	-0,00202	0,29	
2	Subduction	-5,241	0,996	0,004	-0,001	0,1	0,25	0,4	1	-3,24	0,6909	0,0113	-0,00202	0,3	

3.7.2 Fungsi Atenuasi Youngs et al (1997)

Fungsi atenuasi Youngs et al (1997) merupakan fungsi atenuasi dengan menggunakan katalog gempa antar lempeng dengan variasi magnitude 5-8.2 dengan jarak rupture 10-500 km dapat digunakan untuk memprediksi percepatan maksiimum dan percepatan respon spektra pada kejadian gempa zona subduksi interface dan intraslab dengan nilai magnitude momen lebih besar di batuan dasar. Gerakan tanah puncak akan bertambah dengan bertambahnya kedalaman gempa dan gempa-gempa intraslab menghasilkan gerakan tanah puncak yang kira-kira 50% lebih besar dari gerakan tanah puncak pada gempa-geFungsi atenuasi Youngs et al (1997) berbeda pada konstanta yang membentuk persamaan sebagai berikut :

Untuk batuan (*rock*) :

$$Ln(y) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10+M)^3 + C_3 ln(r_{rup} + 1.7818.e^{0.554M}) + 0.00607H + 0.3846Z_T + C_4 - 5M \quad (3.7)$$

Untuk tanah (*soil*) :

$$Ln(y) = -0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10+M)^3 + C_3 ln(r_{rup} + 1.097.e^{0.617M}) + 0.00607H + 0.00648Z_T \quad (3.8)$$

dengan :

Y = spectral acceleration (g)

M = moment magnitude (Mw≥5)

rrup = jarak terdekat ke zona rupture (km) (10 km ≤ ≤ 500 km)

H = kedalaman (km)

Z_T = tipe sumber gempa,

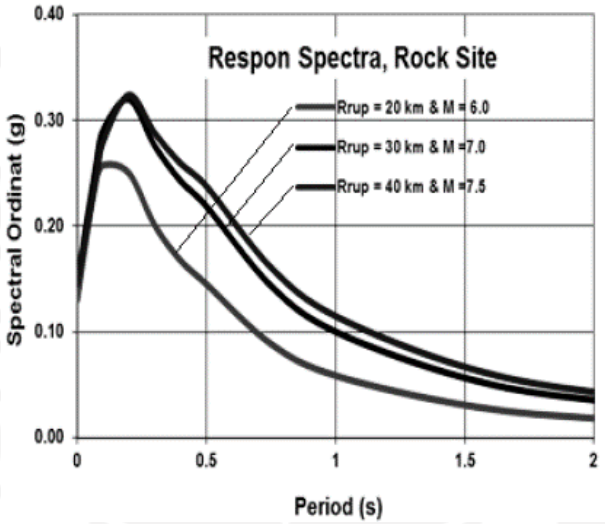
= 0 untuk gempa interface dan 1 untuk gempa intraslab

Tabel di bawah menunjukkan koefisien yang dipergunakan dalam fungsi atenuasi Youngs (1997) sedangkan Gambar di bawah menunjukkan atenuasi Young et al (1997) dalam bentuk kurva.

Tabel 3.2 Koefisien yang digunakan Dalam Atenuasi Youngs (1997) untuk Menentukan Pseudo Acceleration Response Spectra

Period (s)	*Source type*	*C1*	*C2*	*C3*	*C4*	*C5*	ZT
PGA	*Subduction*	0.0	0.0	-2.552	1.45	-0.1	0
0.075	*Subduction*	1.275	0.0	-2.707	1.45	-0.1	0
0.1	*Subduction*	1.188	-0.0011	-2.655	1.45	-0.1	0
0.2	*Subduction*	0.722	-0.0027	-2.528	1.45	-0.1	0
0.3	*Subduction*	0.246	-0.0036	-2.454	1.45	-0.1	0

0.4	*Subduction*	-0.115	-0.0043	-2.401	1.45	-0.1	0
0.5	*Subduction*	-0.4	-0.0048	-2.360	1.45	-0.1	0
0.75	*Subduction*	-1.149	-0.0057	-2.286	1.45	-0.1	0
1.0	*Subduction*	-1.736	-0.0064	-2.234	1.45	-0.1	0
1.5	*Subduction*	-2.634	-0.0073	-2.160	1.5	-0.1	0
2.0	*Subduction*	-3.328	-0.008	-2.107	1.55	-0.1	0
3.0	*Subduction*	-4.511	-0.0089	-2.033	1.65	-0.1	0



Gambar 3.9 Atenuasi Young et al (1997) Dalam Bentuk Kurva

3.7.3 Fungsi Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA

Fungsi atenuasi Boore dan Atkinson (2006) NGA metode regresi kemiripan maksimal dengan moment magnitude 5-8.3 dari berbagai wilayah subduksi berisi persamaan untuk memperkirakan gerakan tanah dalam bentuk komponen horizontal gerakan tanah sebagai fungsi dari mekanisme gempa, jarak dari site ke sumber gempa pada jarak 10-500 km, kecepatan gelombang geser rata-rata local dan tipe fault. Persamaan Boore-Atkinson (2006) NGA diturunkan dengan menggunakan regresi empirik berdasarkan database gerakan tanah kuat (*strong motion*) dari PEER NGA (Wibowo, 2013). Bentuk dari persamaan atenuasi ini seperti pada persamaan dan gambar di bawah, sedangkan nilai koefisiennya seperti disajikan dalam tabel di bawah ini.

$$\text{Ln } y = FM(M) + FD\,(Rjb.M) + FS\,(VS30.Rjb.M) + esT \quad (3.\,9)$$

$$F_M(M) = a_1U + a_2S + a_3N + a_4R + a_5(M-M_h) + a_6(M-M_h)^2 \text{ ; untuk } M \leq Mh \quad (3.\,10)$$

$$F_M(M) = a_1U + a_2S + a_3N + a_4R + a_7(M-M_h) \text{ ; untuk } M > Mh \quad (3.\,11)$$

$$R = \sqrt{Rjb^2+h^2} \quad (3.\,12)$$

Notasi U, SS, NS dan RS merupakan variabel dummy yang digunakan untuk menspesifikasi tipe fault berturut-turut U (unspecified fault), SS (strike slip fault), NS (normal slip fault), dan RS (reverse slip fault).

Tabel 3.3 Koefisien Persamaan Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA

Period	Source Type	θ1	θ2	θ3	θ4	θ5	θ6	θ7	θ8	Mh	C1	C2	C3	C4
PGA	All Sources	-1,115	-1,079	-1,35	-1,086	0,389	-0,12	0	0	7	-0,66	0,119	-0,012	0
0,05	All Sources	-0,860	-0,782	-1,07	-0,942	0,410	-0,1	0,018	0	7	-0,535	0,154	-0,019	0
0,1	All Sources	-0,496	-0,541	-0,68	-0,505	0,215	-0,14	0	0	7	-0,652	0,118	-0,014	0
0,2	All Sources	-0,185	-0,167	-0,35	-0,142	0,410	-0,17	0	0	7	-0,583	0,042	-0,01	0
0,3	All Sources	-0,316	-0,31	-0,51	-0,233	0,509	-0,18	0,006	0	7	-0,554	0,019	-0,08	0
0,5	All Sources	-0,627	-0,621	-0,81	-0,55	0,651	-0,14	0	0	7	-0,692	0,060	-0,005	0
1	All Sources	-1,274	-1,24	-1,6	-1,198	0,693	-0,2	0,006	0	7	-0,818	0,102	-0,003	0
2	All Sources	-2,060	-1,986	-2,42	-2,107	0,721	-0,31	0,326	0	7	-0,829	0,094	-0,002	0
3	All Sources	-2,605	-2,521	-3,01	-2,694	0,749	-0,42	0,696	0	7	-0,785	0,072	-0,002	0
4	All Sources	-2,937	-2,848	-3,29	-3,071	1,119	-0,36	0,685	0	7	-0,685	0,037	-0,002	0
5	All Sources	-2,264	-2,191	-2,49	-2,392	0,105	-0,39	0	0	7	-0,507	-0,024	-0,002	0

Sumber :

Tabel 3.4 Koefisien Lanjutan Persamaan Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA

Period	Source Type	M_{ref}	R_{ref}	h	b_{lin}	v_{ref}	b_1	b_2	v_1	v_2	a_1	*Pga low*	a_2	Sigma l	sigma *2u*	Sigma *tu*	Sigma *2m*	Sigma *tm*
PGA	All Sources	4,5	5	1,4	-0,36	760	-0,64	-0,14	180	300	0	0,06	0,1	0,502	0,262	0,566	0,26	0,562
0,05	All Sources	4,5	5	1,4	-0,29	760	-0,64	-0,11	180	300	0	0,06	0,1	0,576	0,368	0,684	0,37	0,682
0,1	All Sources	4,5	5	1,7	-0,25	760	-0,6	-0,13	180	300	0	0,06	0,1	0,53	0,325	0,622	0,33	0,622
0,2	All Sources	4,5	5	2	-0,31	760	-0,52	-0,19	180	300	0	0,06	0,1	0,523	0,286	0,596	0,29	0,596
PGA	All Sources	4,5	5	1,4	-0,36	760	-0,64	-0,14	180	300	0	0,06	0,1	0,502	0,262	0,566	0,26	0,562
0,3	All Sources	4,5	5	2,1	-0,44	760	-0,52	-0,14	180	300	0	0,06	0,1	0,546	0,269	0,608	0,27	0,608
0,5	All Sources	4,5	5	2,3	-0,6	760	-0,5	-0,06	180	300	0	0,06	0,1	0,555	0,262	0,612	0,26	0,612
1	All Sources	4,5	5	2,5	-0,7	760	-0,44	0	180	300	0	0,06	0,1	0,573	0,313	0,654	0,3	0,645
2	All Sources	4,5	5	2,7	-0,73	760	-0,38	0	180	300	0	0,06	0,1	0,58	0,396	0,702	0,39	0,698
3	All Sources	4,5	5	2,8	-0,74	760	-0,34	0	180	300	0	0,06	0,1	0,566	0,41	0,7	0,4	0,693
4	All Sources	4,5	5	2,8	-0,75	760	-0,31	0	180	300	0	0,06	0,1	0,583	0,389	0,702	0,38	0,695
5	All Sources	4,5	5	2,9	-0,75	760	-0,3	0	180	300	0	0,06	0,1	0,603	0,414	0,732	0,44	0,744

$$F_s = F_{LIN} + F_{NL} \quad (3.\ 13)$$

$$F_{NL} = b_{lin}.\ln(V_{s30}/v_{ref}) \quad (3.\ 14)$$

$$F_{NL} = b_{lin}.\ln(\text{pga low}/0{,}1);\ \text{untuk } 4nl \leq a_1 \quad (3.\ 15)$$

$$F_{LIN} = b_{nl}.\ln(\text{pga low}) + c\,[\ln(\text{pga}.4nl/a_1)]^2 + d[\ln(\text{pga}.4nl/a_1)]^3$$
$$\text{untuk } a_1 < \text{pga } 4nl \leq a_2 \quad (3.\ 16)$$

$$F_{NL} = b_{n1}.\ln(\text{pga}.4nl/0{,}1)\ ;\ \text{untuk } 4nl > a_2 \quad (3.\ 17)$$

Notasi a1 dan a2 ditentukan untuk level batas bawah amplifikasi linier dan non linier, pga_low merupakan variabel yang menandai adanya transisi antara perilaku linier dan non linier. Sedangkan pga4nl adalah estimasi awal dari nilai PGA prediksi untuk Vs30 = 760 m/dt yang dapat dihitung dengan mengambil Fs = 0,0 dan e = 0,0. Fungsi slope non linier (bn1) merupakan fungsi dari periode dan Vs30.

$b_{nl} = b_1$; untuk $V_{s30} \leq V_1$ (3. 18)

$b_{nl} = [(b_1-b_2) \times \ln(V_{s30}/V_2) / [\ln(V_1/V_2)+b_2)$

; Untuk $V1<Vs30 \leq V2$ (3. 19)

$b_{nl} = [b_2.\ln.(V_{s30}/V_{ref})] / [\ln(V_2/V_{ref})$

; Untuk $V_1<V_{s30} \leq V_2$ (3. 20)

$b_{nl} = 0,0$; untuk $V_{s30} \geq V_{ref}$ (3. 21)

$c = (3\Delta y - b_{nl})/ \Delta x^3$ (3. 22)

$d = -92y-b_{nl})/ \Delta x^3$ (3. 23)

$\Delta x = \ln(a_2/a_1)$ (3. 24)

$\Delta y = bnl.\ln(a2/pga_low)$ (3. 25)

3.7.4 Fungsi Atenuasi Sadigh (1997)

Fungsi atenuasi Sadigh (1997) merupakan fungsi atenuasi untuk gempa-gempa *swallow crustal* digunakan untuk memprediksi percepatan tanah puncak dan respon spektra percepatan akibat gempa *shallow crustal*. Fungsi atenuasi Sadigh (1997) memisahkan kejadian gempa dengan magnitude lebih besar dari 6.5 dan kejadian gempa dengan magnitude lebih kecil dari 6.5 untuk memperhitungkan *near filed situation*. Fungsi atenuasi untuk gempa strike slip pada kondisi site rock adalah sebagai berikut :

Untuk batuan (*rock*) :

$Ln(y) = C_1 + C_2.M + C3\ (8,5-M)^{2,5} + C4.\ln(r_{rup} + e^{\cdot(C5+C6\ M)})$

$+ C7.\ln(r_{rup} + 2)$ (3. 26)

Untuk tanah (*soil*) :

$Ln(y) = C_1 + C_2.M + C3.\ln(r_{rup} + C4e^{C5M}) + C6 + C\ (8,5-M)^{2,5}$ (3. 27)

dengan

y = spektral acceleration

r*rup* = jarak terdekat ke *rupture surface*

M = moment magnitude (Mw = 4 – 8) untuk magnitude lebih besar dari 8.5 diambil magnitude = 8.5. Fungsi atenuasi untuk reverse/thrust faulting diperoleh dengan mengalikan korelasi untuk strike slip dengan faktor 1.2.

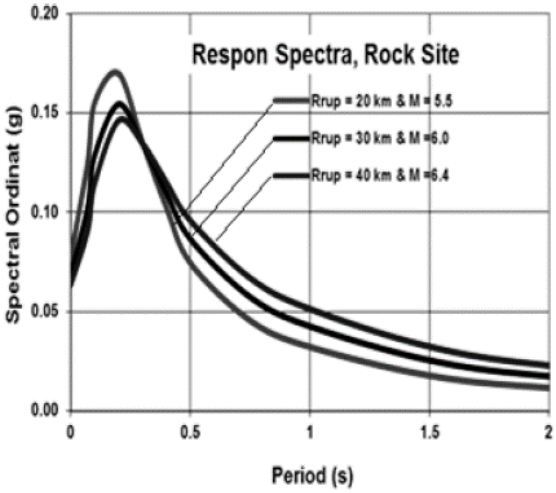
Tabel di bawah menunjukkan koefisien yang dipergunakan dalam fungsi atenuasi Sadigh (1997) untuk M≤6,5 dan M≥6.5 dan pada Gambar di bawah menunjukkan Atenuasi Sadigh (1997) dalam bentuk kurva.

Tabel 3.5 Koefisien yang digunakan dalam fungsi atenuasi Sadigh (1997) M≤6.5.

***Period* (s)**	***C1***	***C2***	***C3***	***C4***	***C5***	***C6***	***C7***
PGA	-0.624	1	0	-2.1	1.29649	0.25	0
0.075	0.11	1	0.006	-2.128	1.29649	0.25	-0.082
0.1	0.275	1	0.006	-2.148	1.29649	0.25	-0.041
0.2	0.153	1	-0.004	-2.08	1.29649	0.25	0
0.3	-0.057	1	-0.017	-2.028	1.29649	0.25	0
0.4	-0.298	1	-0.028	-1.99	1.29649	0.25	0
0.5	-0.588	1	-0.04	-1.945	1.29649	0.25	0
0.75	-1.208	1	-0.05	-1.865	1.29649	0.25	0
1	-1.705	1	-0.055	-1.8	1.29649	0.25	0
1.5	-2.407	1	-0.065	-1.725	1.29649	0.25	0
2	-2.945	1	-0.07	-1.67	1.29649	0.25	0

Tabel 3.6 Koefisien yang digunakan dalam fungsi atenuasi Sadigh (1997) M≥6.5.

***Period* (s)**	***C1***	***C2***	***C3***	***C4***	***C5***	***C6***	***C7***
PGA	-1.274	1.1	0	-2.1	-0.4845	0.524	0
0.075	-0.54	1.1	0.006	-2.128	-0.4845	0.524	-0.082
0.1	-0.375	1.1	0.006	-2.148	-0.4845	0.524	-0.041
0.2	-0.497	1.1	-0.004	-2.08	-0.4845	0.524	0
0.3	-0.707	1.1	-0.017	-2.028	-0.4845	0.524	0
0.4	-0.948	1.1	-0.028	-1.99	-0.4845	0.524	0
0.5	-1.238	1.1	-0.04	-1.945	-0.4845	0.524	0
0.75	-1.858	1.1	-0.05	-1.865	-0.4845	0.524	0
1	-2.355	1.1	-0.055	-1.8	-0.4845	0.524	0
1.5	-3.057	1.1	-0.065	-1.725	-0.4845	0.524	0
2	-3.595	1.1	-0.07	-1.67	-0.4845	0.524	0
3	-4.35	1.1	-0.08	-1.61	-0.4845	0.524	0
4	-4.88	1.1	-0.1	-1.57	-0.4845	0.524	0



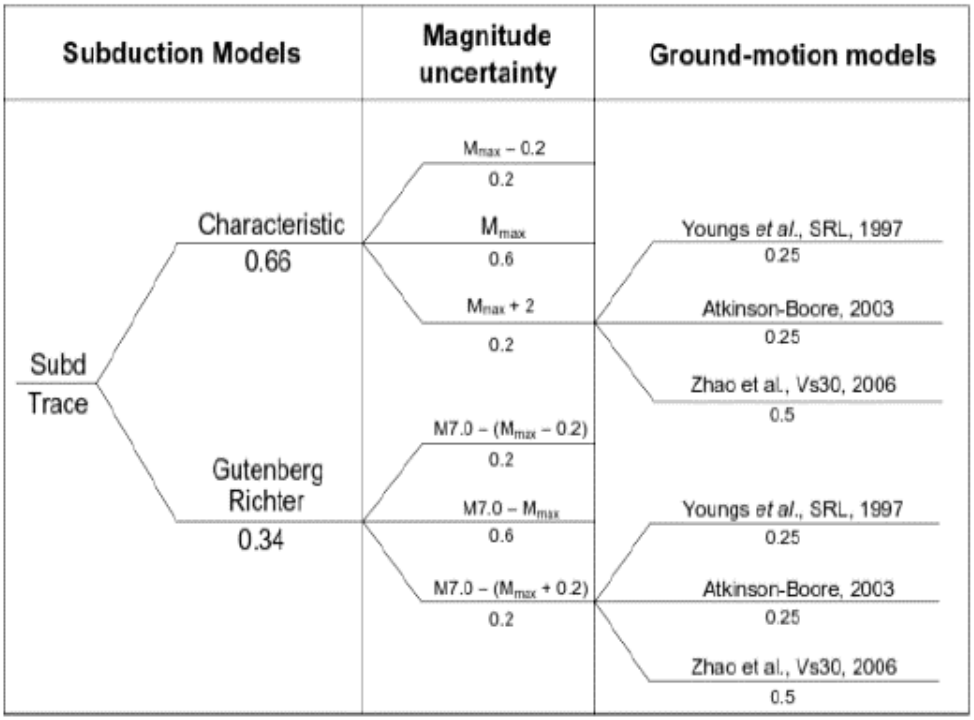
Gambar 3.10 Atenuasi Sadigh (1997) Dalam Bentuk Kurva.

3.8 *Logic Tree*

Kulkarni dkk., (1984) dan Coppersmith & Youngs (1986) mengembangkan metode *logic tree* suatu kerangka kerja untuk memperhitungkan seluruh ketidakpastian parameter dalam PSHA, yaitu pemilihan r*ecurrence model*, fungsi atenuasi, *recurrence rate*, dan magnitude maksimum. Kelebihan *logic tree* adalah kebebasan dalam menggunakan beberapa model lebih terkontrol tingkat keakuratannya. Adanaya *logic tree* setiap alternatif yang dipilih dalam menentukan parameter suatu bobot yang menggambarkan presentasi kemungkinan relative suatu model terhadap model lainnya. Jumlah faktor bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan satu.

Dalam perhitungan probabilitas tidak memberikan kepastian nilai/ parameter pertimbangan sistemik pada satu model seismic hazard tertentu. Beberapa kejadian, pilihan terhadap elemen model seismic hazard tertentu mungkin dianggap kurang tepat, sehingga ketidakpastian dari nilai parameter yang digunakan, kurang tepat dalam memilih model dalam seismic hazard dalam bentuk dari ketidakpastian epistemic. **Gambar 3.11** contoh bentuk *logic tree* analisis *hazard* gempa untuk sumber gempa subduksi. Pada gambar di bawah distribusi magnitude gempa karakteristik diberikan 66% lebih mungkin menjadi betul dibandingkan dengan distribusi Gutenberg-Ricter. Pada level magnitudo, kemungkinan relatif yang berbeda diberikan untuk magnitude maksimum. Untuk Mmax diberikan kemungkinan relatif 0.6 sedangkan Mmax-0.2 dan Mmax+0.2 diberikan

kemungkinan relatif masing-masing 0.2. Pada level terakhir yaitu atenuasi untuk subduksi yaituYoungs et al (1997), Atkinson Boore (2003) dan Zhao et al (2006) diberikan kemungkinan relatif 0.25, 0.25 dan 0.5.



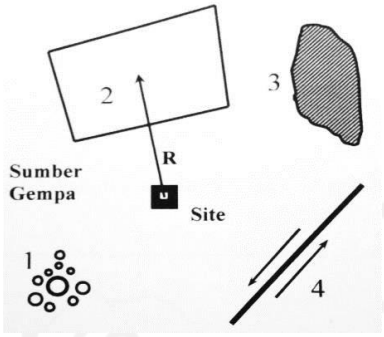
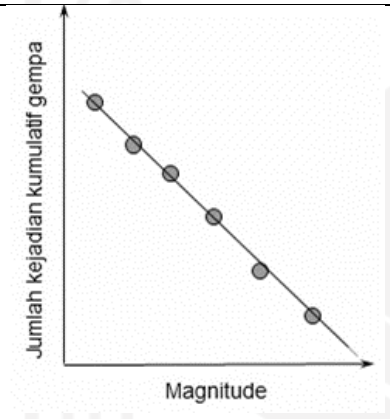
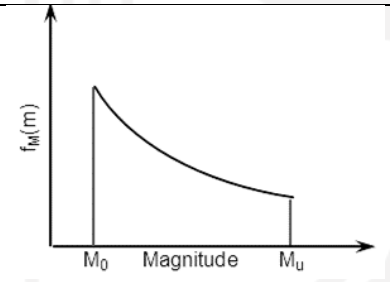
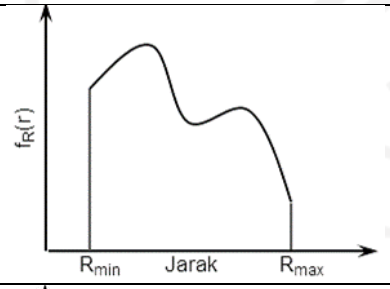
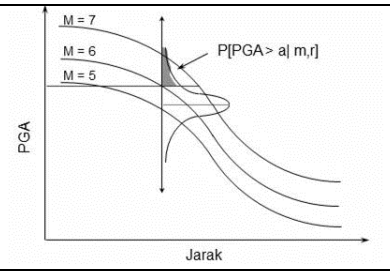
Gambar 3.11 Contoh Logic Tree Dalam Analisis Hazard Gempa (Kramer, SL., 1996).

3.9 *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)

Metode PSHA yang dikembangkan pertama kali oleh Cornell (1968) merupakan perpaduan aspek seismisitas yang memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari skala kejadian gempa, lokasi dan frekuensi kejadian, untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh mengenai tingkat *hazard* lokasi yang ditinjau dengan metode penentuan gempa bumi berdasarkan data kejadian gempa dan informasi geologi pada zona patahan yang ada. Analisis bahaya gempa (*seismic hazard analysis*) bertujuan untuk memperoleh estimasi kuantitatif dari goncangan tanah (*ground-shaking*) pada suatu wilaayh tertentu.

Tahapan analisis hazard gempa dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dapat diuraikan menjadi enam tahap proses (Makrup, L., 2009) yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.7 Tahap Proses Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis

No	Proses	Keterangan
1		Tahap pertama, meninjau seismisitas lokal (*local seismicity*) dari suatu wilayah yang akan diidentifikasi dan dipertimbangkan sebagai sumber gempa potensial sesuai dengan kondisi geologi dan sejarah kegempaan dari daerah tersebut.
2		Tahap kedua, meninjau aktifitas tiap sumber gempa, yang ditentukan melalui laporan jumlah kejadian gempa sebelumnya yaitu dengan catatan magnitudedan intensitas gempa pada sumber yang bersangkutan.
3		Tahap ketiga,selanjutnya diturunkan model probabilitas untuk memprediksi kemungkinan tiap sumber dapat menimbulkan gempa dengan magnitude tertentu dalam satu periode waktu tertentu (biasanya dalam tahun).
4		Pengaruh geometri dari sumber gempa termasuk di dalamnya jarak site ke sumber gempa diperlukan untuk menghitung dan menentukan distribusi probabilitas dari jarak tersebut.
5		Memprediksi parameter seismik berupa percepatan tanah dan respon spektra menggunakan fungsi dari magnitude dan jarak dari site ke sumber gempa yang dikenal dengan fungsi atenuasi.

Berdasarkan informasi yang diperoleh dan bersama dengan ketidakpastian yang terjadi pada proses 1 – 5, dilakukan perhitungan dalam bentuk integrasi persamaan berikut (Cornell, 1968) :

$$Px(x) = \int_m \int_R P(X > x|m,r)\, f_m(m) f_R(r) dr dm \quad (3.30)$$

Dengan :

$Px(x)$ = Probabilitas total dari suatu gempa yang menghasilkan percepatan puncak X > x, magnitude M, jarak R selama rentang waktu yang ditinjau.

f_m = fungsi distribusi dari magnitude

f_R = fungsi distribusi dari jarak hiposenter

3.10 Menentukan Gerakan Tanah Desain

Makrup, L., (2009) mengatakan gerakan tanah desain merupakan gerakan tanah (parameter gerakan tanah) yang diperlukan untuk dapat menentukan gerakan desain (*design motion*) yang dapat digunakan untuk kepentingan perancangan struktur diatas permukaan tanah. Langkah-langkah yang disampaikan sebelumnya menjelaskan bagaimana menghitung:

1. Perkiraan nilai parameter gempa yang disebabkan oleh magnitude tertentu dan jarak dari *site* ke sumber tertentu (hubungan atenuasi).
2. Probabilitas magnitude tertentu akan terlampaui selama periode studi (fungsi distribusi probabilitas magnitude).
3. Probabilitas jarak tertentu akan terlampaui untuk satu geometri sumber gempa tertentu (fungsi distribusi probabilitas jarak).

3.10.1 Deagregasi Hazard Kegempaan

Dasar dari perhitungan *seismic hazard* probabilistik (PSHA) yaitu menghitung ancaman gempa berdasarkan pada kumpulan hasil dari semua kejadian gempa dan gerak tanah yang mungkin dapat terjadi di masa datang. Sedang analisis dengan kemungkinan magnitude dan jarak dari site ke sumber mana yang akan memberikan *hazard* terbesar pada *site* tidak terlihat jelas dalam PSHA. Makrup, L., (2009) mengatakan dengan kondisi seperti ini maka PSHA menjadi kurang lengkap memberi informasi tentang magnitude (M) dan jarak (R) yang dominan dan tunggal dalam desain gempa.

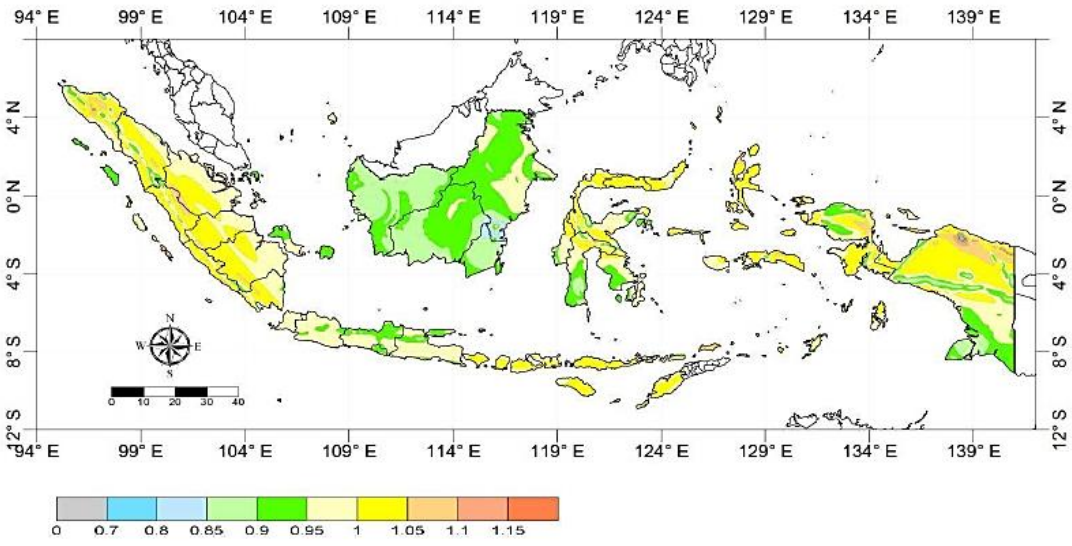
Makrup, L., (2009) mengatakan analisis *seismic hazard* probabilistik (PSHA) memiliki keuntungan karena berbagai asumsi tentang sumber gempa potensial dan keberulangan gempa diintegrasikan menjadi satu dengan tiap-tiap asumsi memiliki kesempatan relative untuk berpartisipasi dalam analisis. Di sisi lain, diperlukan untuk selalu dapat menyediakan gempa desain untuk tujuan membuat keputusan dalam memilih *time history* yang tepat untuk analisis yang didasarkan pada *spectra hazard* seragam, kemudian menghitung parameter seperti durasi gerak dan lain-lainnya.

Dengan berbagai keunggulan, tetntunya metode ini memiliki kelemahan yaitu ketidakmampuan membuat *ground motion* untuk analisis gempa lanjut seperti interaksi tanah-bangunan, stabilitas lereng dan likuifaksi, yang menggambarkan satu kejadian gempa. Sebagai contoh, sebuah *ground motion* dengan respon spektra dari PSHA dengan probabilitas terlampaui 2% dalam dalam 50 tahun merupakan kombinasi respon spektra dari berbagai gempa dari berbagai sumber. Oleh karena itu, gempa tidak terjadi dalam satu kejadian gempa (dengan sebuah magnitude dan jarak tertentu) dengan satu respon spektra. Respon spektra yang dihasilkan dari PSHA menunjukkan bahwa struktur 103 pada suatu lokasi akan menerima berbagai gempa dari berbagai sumber dengan berbagai magnitude dan jarak secara simultan. Dan hal ini tidak mungkin terjadi di kenyataan.

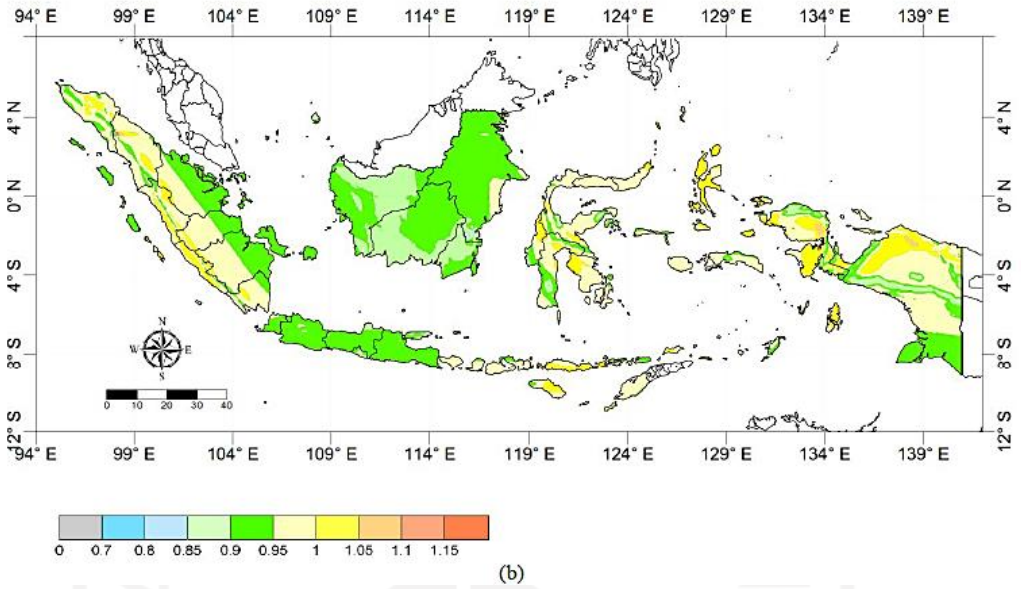
3.10.2 Spektra *Hazard* Seragam (*Uniform Hazard Spectrum*)

Apabila nila SA di setiap periode T telah diperoleh, hasilnya akan disajikan dalam bentuk UHS, setiap nilai percepatan spektral (SA) pada grafik UHS merupakn konstribusi terhadap kemungkinan jenis sumber, jarak gempa dan magnitude, (Widodo, 2020). Pada peta percepatan Spektral pada T = 0.2s probabilitas 2% dalam 50 tahun, dan peta percepatan spektral pada T = 1.0s probabilitas 2% dalam 50 tahun peta-peta tersebut masih didefinisikan probabilistic maximum concerned earthquake (MCE), (Sengara, 2020). Menurut Partono, W *et al* (2019) koefisien situs Fa dan Fv yang tercantum pada SNI 1726:2012 mengadopsi dari peraturan ASCE/SEI 07-10 (*minimum design loads for buildings and other structures*). ASCE/SEI 07-10 telah berkembang menjadi ASCE/SEI 7-16, sehingga ASCE/SEI 7-16 memberikan dampak terhadap pengembangan SNI 1726:2012, informasi yang perlu dievaluasi adalah peta MCER (*risk-targeted maximum considered earthquake*) di batuan dasar (SB) baik untuk periode pendek (SS) dan periode panjang (S1). Untuk mendapatkan nilai MCER dengan menetapkan Risk Targeted Ground Motion (RTGM) 2019 dari akselerasi spektral (Ss dan S1), dan koefisien risiko (CRS dan

CR1), baik untuk periode pendek (T=0.2s) dan periode panjang (T= 1s), analisis *risk targeted ground motion* (RTGM) dari PSHA (dengan target probabilitas keruntuhan bangunan 1% selama 50 tahun), perhitungan RTGM digunakan nilai logaritma standard deviasi "β" sebesar 0,65 dan nilai faktor arah gempa (*direction factor*) 1,1 untuk spektra 0,2 detik dan 1,3 untuk spektra 1 detik. Spektra percepatan di permukaan dihitung dengan mengalikan nilai spektra MCER SS maupun MCER S1 dengan koefisien situs Fa dan Fv masing-masing untuk spektra 0,2 detik dan 1 detik. Menurut Widodo, (2020) Faktor directivity untuk T = 0s dapat diambil Df = 1,untuk periode T = 0.2s nilai Df = 1.1 dan untuk periode T= 1.0s nilai dari directivity factor Df= 1.3. Dari T = 0s sampai T = 0.2s dan dari T = 0.2s sampai T = 1.0s, nilai Df dapat dihitung secara linier.Untuk T > 1.0s, faktor directivity adalah konstan, Df =1.3. Terlepas dari nilai faktor directivity, masih perlu diketahui bahwa pada tingkat MCE tidak menjamin, maka agar risiko seragam terjadi, terdapat satu faktor lagi yang perlu diperhitungkan, yaitu koefisien target risiko (Rf), sehingga gerakan tanah akan mencapai MCEr gempa *Maksimum Credible* Target Risiko. Berdasar koefisien seismik Indonesia, koefisien target risiko telah disajikan dalam bentuk peta pada **Gambar 3.12** yaitu peta CRS untuk periode pendek T = 0.2s dan peta CR1 untuk periode panjang T= 1.0s.



(a)



Gambar 3.12 Peta Crs (a) Peta CRS (nilai CR sesuai dengan nilai spektral pada periode 0,2 detik) dan (b) CR1 (nilai CR sesuai dengan nilai spektral pada periode 1,0 detik)

3.11 Kecepatan Gelombang *Shear* pada Kedalaman 30 Meter (V_{s30})

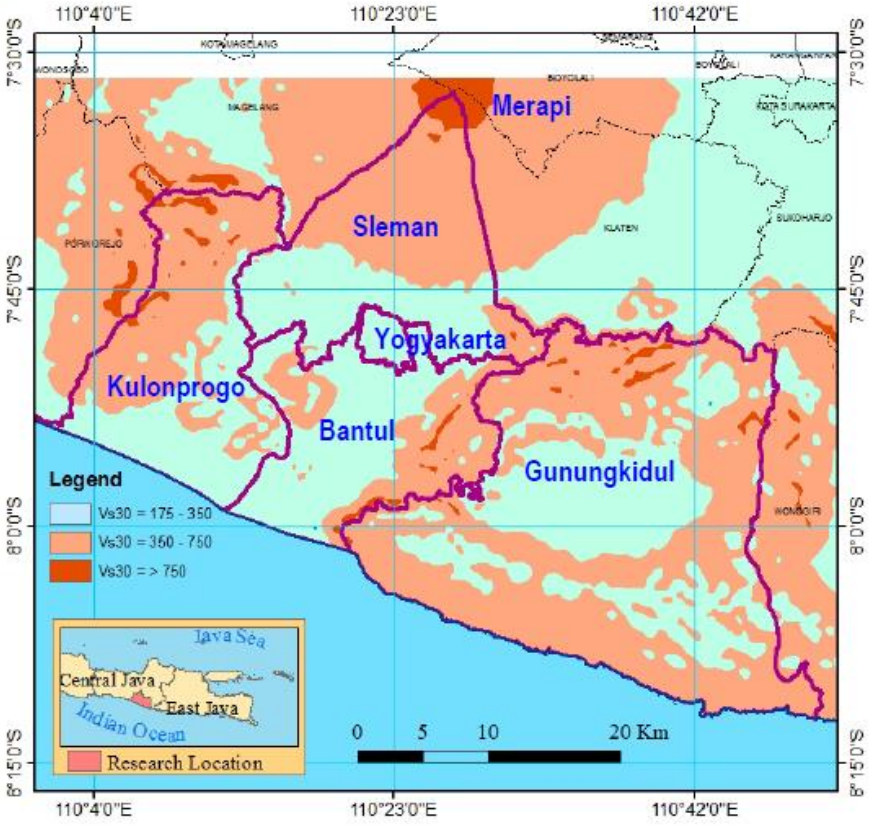
Kelas situs atau klasifikasi situs tanah berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal didasarkan pada data V_{s30} yang diunduh dari USGS, kecepatan gelombang (Vs) merupakan parameter untuk mengevaluasi sifat dinamika tanah. Menurut McPherson et al (2013), Nilai kecepatan rata-rata gelombang geser dari permukaan hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) juga dapat digunakan sebagai parameter untukmenganalisis kondisi geologi terhadap tingkat kerawanan akibat gempa bumi. Menurut SNI 1726 –2019 (BSN,2019) terdapat 5 kelas situs yaitu kelas situs A hingga E dengan struktur batuan keras hingga tanah lunak, berikut klasifikasi kelas situs menurut SNI 1726-2019.

Tabel 3.8 Klasifikasi Kelas Situs Tanah berdasarkan SNI 1726 – 2019 (BSN, 2019)

Kelas Situs	Deskripsi umum	*Vs*30 (m/s)
SA	Batuan keras	*Vs*30 > 1500
SB	Batuan sedang	750 ≤ *Vs*30 ≤ 1500
SC	Tanah keras, sangat padat dan batuanlunak	350 ≤ *Vs*30 ≤ 750
SD	Tanah sedang	175 ≤ *Vs*30 ≤ 350

SE	Tanah lunak	*Vs*30 < 175

Penelitian yang dilakukan mendekati hasil penelitian yang dilakukan oleh Widodo (2018), mengenai *Site Coefficient of Short Fa and Long period Fv Maps Constructed from the Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Yogyakarta Special Province* yang di sajikan pada **Gambar 3.12,** nilai Vs30 <175 m/s menunjukkan kelas situs SE dengan deskripsi jenis tanah lunak, nilai Vs30=175-350 m/s menunjukkan kelas situs SD dengan deskripsi jenis tanah sedang, nilai Vs350-750 m/s menunjukkan kelas situs SC dengan deskripsi jenis tanah keras, sangat padat dan batuan lunak, nilai Vs>750 m/s menunjukkan kelas situs SB dengan deskripsi jenis batuan sedang.



Gambar 3.13 Peta Vs 30 D.I Yogyakarta (Widodo, 2018)

3.12 Amplifikasi

Amplifikasi akibat adanya pengaruh kondisi tanah setempat (*site effects)* dapat di peroleh dengan 2 cara, cara pertama berdasarkan data rekaman respon tanah akibat gempa dari tempat-tempat yang berbeda(pada kejadian yang sama).

Cara kedua adalah bersadarkan pada analisis numerik rambatan gelombang geser dari tanah dasar sampai di permukaan tanah, Widodo (2012).

3.12.1 Amplifikasi Respons Tanah Berdasar Pada Rekaman Gempa

Menurut Stewart dkk (2004) dalam widodo (2012) mengatakan bahwa amplifikasi gerakan tanah diperoleh berdasar pada *weak motion amplification* maupun *strong motion amplifcatm weak motion amplification* yang dimaksud adalah bahwa amplifikasi diperoleh dn rekaman *weak sources* seperti gempa *aftershock, micro tremor* maupun *nuclear explosias.*

a. Amplifikasi berdasar pada *Weak Motion Data*

Borcherdt dan Gibbs (1976) dan Roger et al. (1984) dalam Widodo (2012) melalu studi akibat *nuclear explosion* di Gurun Nevada USA yang kemudian di rekam di 4-kondisi tanah yaitu di tanah lumpur (Bay Mud) di San Prancisco, di tanah alluvium di San Francisco dan Los Angeles, di tanah endapan berbatuan (*sedimentary bedrock*) dan di tanah batu, Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa amplifikasi sampai level 10 kali terjadi di tanah lumpur (pada Ts - 1 dt), amplifikasi pada level 2 - 5 terjadi pada tanah alluvium dan amplifikasi antara 1 - 3 terjadi pada tanah berbatuan. Berdasar pada studi ini bahwa amplifikasi cenderung membesar pada tanah yang semakin lunak, walaupun untuk sementara masih mengabaikan kandungan frekuensi beban dinamik.

b. Amplifikasi Berdasar pada *Strong Mocion Data*

Amplifikasi gerakan tanah ini didasarkan atas rekaman gempa pada gempa Loms Prieta 1989. Gempa ini telah berhasil direkam dalam jumlah yang cukup banyak, sebagai basis data analisis amplifikasi gerakan tanah. Borcherdt dan Glassmoyer (1994) dalam Stewart (2004) telah memakai 37 rekaman di daerah San Francisco. Ampiifikasi dibahas di dasarkan atas rekaman yang terletak di dekat tanah berbatu, di tanah endapan berbatu dan tanah berbatu kompieks. Hasil kajian dinyatakan dalam plot antara amp fikasi lawan kecepatan gelombang geser Vs pada rentang kedalaman 30 meter (30-m Vs), Widodo (2012).

3.12.2 Amplifikasi berdasarkan *ground Response Analysis*

Amplifikasi gerakan tanah selain memakai data rekama gempa akibat gempa juga dapat diperoleh secara analisis. Analisis yang dimaksud adalah analisis

dinamik lapis-lapisan tanah endapan yang salah satunya dapat dilakukan mirip seperti analisis dinamika struktur. Pada analisis tersebut beban gempa bekerja pada dasar batuan *(base rock)* dan yang akan dicari adalah respons di setiap lapis-lapisan tanah termasuk yang paling penting yaitu respons permukaan tanah atau di elevasi dasar fondasi. Apabila respons di tempat tempat tersebut telah diperoleh, maka amplifikasi atau deamplifikasi segera dapat diperoleh yatu dengan membandingkannya dengan beban gempa yang bekerja pada batuan dasar (*base rock*), Widodo (2012).

a. Metode analisis

Metode analisis dinamik lapis-lapisan tanah dapat memakai metode diskrit atau memakai metode kontinum. Pada metode diskrit, lapis-lapisan tanah diidentikkan sama dengan tingkat-tingkat pada bangunan, sehingga tiap-tiap lapis akan mempunyai massa, kekakuan dan redaman Banyaknya masa tanah endapan akan sama dengan banyaknya lapisan, pada metode kontinum, endapan tanah dianggap homogen atau dibawa kebentk homogen sehingga tanah endapan berupa massa yang kontinum. Penyelesaian proble dinamika dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan diferensial media kontiruv Metode mana yang dipakai akan dipengaruhi oleh banyak hal. Untuk selanjutnya yang ak? dibahas lebih lanjut adalah model diskrit, karena model ini relatif sederhana dan telah banya dipakai, Widodo (2012).

b. Model Respons Tanah *(Ground Response Model)*

Mada model diskrit, hal yang paling banyak mendapat bahasan adalah kekakuan lapisan tanah. Sebagaimana diketahui bahwa perilaku umum tanah bersifat non-inser. Namun pada intensitas beban yang relatif kecil respons tanah dapat dianggap liner. Untuk itulah modci respons tanah dapat drkategorikan menjadi model linier atau ekivalep linier dan model non-linier, Widodo (2012).

3.13 Respon Spektra Target

Respon spektra target adalah respon spektra di batuan dasar dari seluruh mekanisme sumber gempa yang terdiri dari besaran perpindaahan (*displacement),* kecepatan *(velocity),* dan percepatan *(acceleration)* dari berbagai nilai periode. Respon spektra target menjadi patokan untuk analisis *spectral matching* untuk

mendapatkan *ground motion* sintetik yang sesuai untuk suatu wilayah yang di tinjau ditinjau, *M* (magnitude), *R* (jarak). Respon spektra target untuk sumber gempa pada suatu daerah dapat ditentukan setelah diperoleh hasil analisis deagregasi. Respon spektra target untuk masing-masing sumber gempa dapat ditentukan dengan menghitung kembali respon spektra di batuan dasar dari berbagai fungsi atenuasi yang dipergunakan masing-masing sumber gempa dengan memperhatikan *logic tree* yang dipergunakan. Selanjutnya diskalakan dengan nilai respon spektra gabungan dari hasil analisis *hazard* gempa yang telah diperoleh sebelumnya untuk periode pendek (T=0.2 detik) dan periode panjang (T=1 detik).

3.14 *Ground Motion* Gempa Sintetik

Percepatan riwayat waktu atau *ground motion* bagian dari data gempa yang diperlukan untuk analisa perambatan gelombang geser seismik pada suatu deposit tanah untuk analisa dinamis akibat beban gempa adalah data riwayat waktu percepatan gempa. Data ini dapat memberikan gambaran spesifik tentang kondisi geologi dan parameter-parameter kegempaan, misal nilai maksimum percepatan gempa di batuan dasar, frekuensi dan durasi. Untuk mendapatkan hasil analisis kegempaan yang akurat, *ground motion* di batuan dasar ini dibuat dengan memperhitungkan kondisi tektonik, analisis *hazard* gempa, dan target spektra.

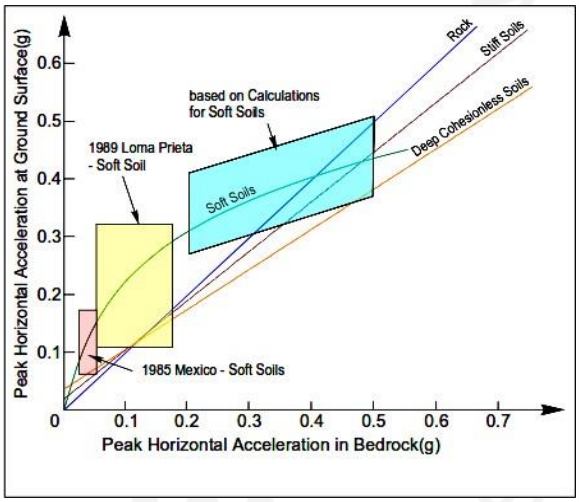
Karena memang data catatan gempa yang ada di Indonesia yang diturunkan data dalam bentuk riwayat waktu masih sangat kurang lebih banyak dalam bentuk informasi mengenai lokasi pusat gempa, magnitude, kedalaman dan mekanismenya. Pembuatan percepatan riwayat waktu gempa sintetik dapat dilakukan menggunakan bantuan program SeismoMatch. Pembuatan *ground motion* gempa sintetik denganprogram ini memerlukan input data berikut :

1. Respon spektra target.
2. *Intensity envelope function*.
3. *Peak ground acceleration*.
4. *Time interval time histories*.
5. *Damping ratio*

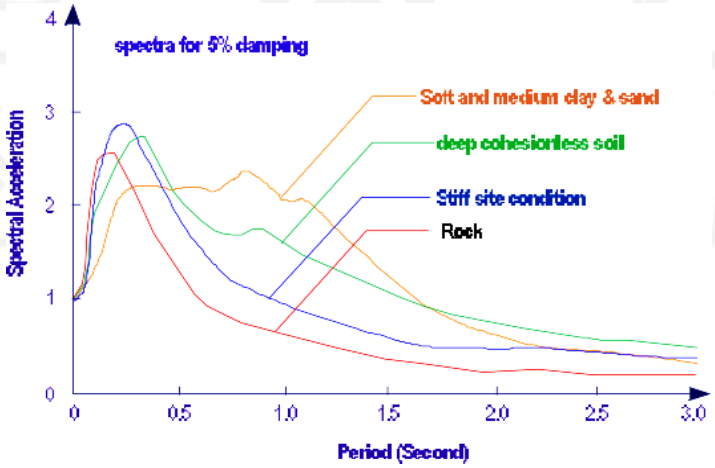
3.15 Respon Dinamika Tanah

Idriss, 1990 dan Kramer, S.L., 1996 menurut peneliatan yang dilakukan percepatan maksimum dan respon spektra yang terjadi di permukaan dipengaruhi

oleh kondisi tanah seperti jenis lapisan tanah dan tebal lapisan tanah, pada **Gambar 3.14** menjelaskan variasi perubahan amplifikasi dipengaruhi oleh jenis tanah. Sementara pada **Gambar 3.15** terdapat adanya pengaruh signifikan jenis tanah terhadap grafik bentuk respon spektra. Aldiamar, (2007) mengatakan tanah lempung dengan konsistensi *soft-medium* terlihat mengalami rentang periode yang lebih lama dibandingkan rentang jenis tanah lainnya. Hal ini menunjukkan pentingnya evaluasi gempa dengan memperhitungkan kondisi tanah dan geologi lokal, sebab letak lapisan batuan dasar yang sangat dalam dapat mengakibatkan terjadinya variasi besaran amplifikasi yang cukup signifikan tergantung dari stratifikasi lapisan tanah diatasnya.



Gambar 3.14 Pengaruh jenis tanah terhadap perubahan percepatan(after Idriss, 1990).



Gambar 3.15 Pengaruh jenis tanah terhadap bentuk respon spektra(Kramer, S.L., 1996).

3.16 Parameter Dinamik Tanah

Muntafi, (2012) mengatakan Respon tanah ditentukan oleh parameter dinamik tanah. Parameter dinamik yang digunakan dalam analisis respon dinamika tanah adalah modulus geser maksimum (G_{max}), kecepatan rambat gelombang geser (V_S) dan redaman (ξ). Perilaku tanah bersifat nonlinier walaupun dengan regangan yang sangat kecil. Saat amplitude regangan geser meningkat, perilaku nonlinier ini menyebabkan kekakuan tanah berkurang dan redaman bertambah. Hubungan kekakuan dan regangan dapat ditunjukkan dengan dua cara yaitu dengan kurva regangan tegangan (*backbone*) nonlinier dan kurva modulus geser. Pengujian laboratorium menunjukkan bahwa kekakuan dinamik pada prinsipnya tergantung pada kepadatan tanah, tegangan efektif, plastisitas tanah dan amplitude regangan. Pada pendekatan linier perpotongan modulus geser merupakan hasil modulus geser maksimal (modulus geser pada tingkat regangan yang sangat rendah) G_{max}, dan faktor reduksi modulus G/G_{max}. Parameter dinamik tanah diperoleh melalui pengujian di lapangan dan laboratorium. (Muntafi, 2012).

Nilai G_{max} dan V_S biasanya dikorelasikan dengan kuat geser tanah yang diperoleh dari tes laboratorium atau tes lapangan seperti nilai N-SPT dan q_c sondir. Tabel 3.9 – Tabel 3.11 menunjukkan korelasi empiris antara G_{max} dan q_c, *Gmax* dan V_S, V_S dan q_c dari hasil penelitian Barros (1991).

Tabel 3.9 Korelasi antara G_{max} dengan q_c
(Barros, 1991 dalam Irsyam, 2000).

Referensi	Korelasi Gmax	Jenis Tanah	Keterangan
Rix dan Stokoe (1991)	$G_{max} = 1634(q_c)^{0.250}(\sigma_v)^{0.375}$	Pasir	$G_{max} q_c\ \sigma_v$ dalam kPa
Mayne dan Rix (1993	$G_{max} = 406(q_c)^{0.695}(e0)^{-1.13}$	Lempung	$G_{max} q_c\ e_0$ dalamkPa
Bouckovalas et al (1989)	$G_{max} = 28(q_c)^{1.40}$	Lempung	$G_{max}\ q_c$ dalam MPa

Tabel 3.10 Korelasi antara G_{max} dan V_S dengan SPT(Barros, 1991 dalam Irsyam, 2000).

Referensi	Korelasi Gmax (kPa)	Korelasi *Vs* (m/det)	R	Tipe Tanah
Ohsaki, Iwasaki (1973)	G_{max} = $11500N^{0.8}$		0.888	Semua (Jepang)
Ohta, goto (1978)		V_S = $85.3N^{0.341}$	0.72	Semua (Jepang)
Imai, Tonouchi (1982)	G_{max} = $14070^{0.68}$	V_S = $96.9N^{0.314}$	0.867	Semua (Jepang)
Seed et al (1983)	Gmax=6220N			Pasir (USA)
Sykora, Stokoe (1983)		V_S = $101N^{0.29}$	0.84	Pasir (USA)

Tabel 3.11 Korelasi antara V_S dengan q_c

(Barros, 1991 dalam Irsyam, 2000).

Referensi	Korelasi V_S (m/det)	Jenis Tanah	Keterangan
Sykora, Stokoe (1983)	V_S = $1.7q_c$ + 440	Non kohesif	Vs dalam fps dan $q_c$dalam kg/cm^2
Baldi et al (1989)	VS =$277(q_c)^{0.13}(\sigma V0)^{0.27}$		q_c dan σ_{V0} dalam Mpa dan V_S dalam m/det^2

3.17 Perambatan Gelombang

Hasil perambatan vertikal gelombang batuan dasar ke permukaan tanah adalah hasil respon dinamik tanah. Perambatan gelombang dari sumber gempa berubah arah menjadi vertikal ke permukaan disebabkan olehperlapisan tanah yang umumnya menerus horisontal dan kepadatan tanah lebih kecil pada lapisan yang lebih atas. Dari keadaan tersebut perambatan gelombang kearah vertikal dari batuan dasar ke permukaan tanah dengan syarat lapisan tanah diasumsikan mempunyai panjang tak terbatas pada arah horizontal.

Penyederhanaan model perambatan diperlukan dimana system dianggap terdiri dari *N* lapisan horisontal yang tak berhingga dan lapisan dasar dianggap sebuah sistem *half space*. Setiap lapisan memiliki sifat homogen dan isotropik dengan ketebalan lapisan (*h*) yang memiliki parameter berupa rapat massa (ρ), modulus geser (*G*), dan damping rasio (ξ)

3.18 Respon Spektra

Menurut widodo (2012) respon spektra adalah suatu sprektrum yang disajikan dalam bentuk grafik antara periodo getar struktur T, lawan respon-renspon maksimumnya untuk rasio redaman dan beban gempa tertentu. Aldiamar (2007) dalam Sunardi (2012) respon spektra adalah grafik yang menggambarkan reaksi maksimum dari sistem satu derajat kebebasan (*single degree of freedom*) terhadap suatu beban dinamis sebagai fungsi dari frekuensi alami dan damping rasio dari sistem tersebut. Reaksi ini dapat berupa percepatan, kecepatan dan perpindahan.

Penggambaran respon spektra bisa dalam bentuk *tripartite spectrum* yang menggambarkan reaksi maksimum percepatan, kecepatan dan perpindahan dalam satu grafik. Kelebihan dari *tripartite spectrum* adalah maksimum respon dari percepatan, kecepatan dan perpindahan dapat diketahui dalam keseluruhan rentang periode yang diinginkan. Dalam desain praktis pemodelan respon spektra desain dibuat dengan bentuk respon spektra yang telah dinormalisir dengan nilai percepatan maksimum di batuan dasar. Aldiamar (2007) dalam Sunardi (2012) Penyederhanaan respon spektra desain dapat dilakukan dengan cara mengambil selubung dari respon spektra. Mengambil rata-rata kumpulan respon spektra ataupun nilai rata-rata ditambah 1 kali standar deviasi dari kumpulan respon spektra.

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data historis kejadian gempa dari tahun 1950 sampai tahun 2021 yang diperoleh dari USGS dengan luas wilayah pengambilan dibatasi pada radius 500 km dari batas administrasi Provinsi Jawa Tengah atau wilayah dengan batas koordinat 108.30 BT – 111.30 BT dan 5.40 LS – 8.30 LS. ketentuan data yang digunakan adalah data kejadian gempa dengan magnitude minimum (Mw) adalah 5 dan kedalaman maksimum 300 km.

4.2 Instrument Penelitian

Instrument utama yang diperlukan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer. Kemudian istrument pendukung adalah penggunaan beberapa perangkat lunak (*software*) sebagai berikut:

1. *Software Matlab* R2010a, untuk mengoperasikan *software ZMAP* (Wiemer, 2001) untuk pengolahan data gempaantara lain untuk memisahkan gempa utama (*mainshock*) dengan gempa ikutan, untuk menentukan kelengkapan magnitude serta untuk menghitung parameter yang dipergunakan dalam analisis *hazard* gempa (mengestimasi nilai-a dan nilai-b masing-masing zona sumber gempa).
2. *Software* SR Model yang dikembangkan oleh Makrup, LL., (2009) untuk analisis *hazard* gempa dan proses deagregasi.
3. *Software ArcGis* dikembangkan oleh ESRI corporation untuk membuat peta spasial berupa peta *seismic hazard.*
4. Analisis *spectral matching* untuk menentukan *ground motion* sintetik di batuan dasar dilakukan dengan bantuan *software* SeismoMatch.
5. Respon dinamika tanah dianalisis menggunakan teori perambatan gelombang dengan bantuan *software* Deepsoil.

4.3 Tahapan Analisis

Langkah-langkah atau tahapan analisis yang harus dilalui untuk menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.3.1 Konversi Skala Magnitude

Data kejadian gempa yang diperoleh atau dikumpulkan dari USGS memiliki skala magnitude yang berbeda. Skala magnitud yang diperoleh antara lain adalah *surface wave magnitude (M_S), Richter local magnitude (M_L), body wave magnitude (M_b)* dan *moment magnitude (M_W).* Dalam penelitian ini, konversi magnitude yang dipergunakan mengacu pada korelasi konversi antara beberapa magnitude untuk wilayah Indonesia (Asrurifak, 2010) yang ditunjukkan pada **Tabel 4.1**. Untuk menjamin konsistensi dalam analisis kegempaan maka digunakan skala magnitude yang sama yaitu Magnitude momen (M_W), karena lebih konsisten dibandingkan dengan skala yang lain.

Tabel 4.1 Korelasi konversi antara beberapa skala magnitude untuk wilayah Indonesia (Asrurifak 2010).

Korelasi Konversi	Jml Data (*Events*)	Range Data	Kesesuaian (R^2)
$Mw=0.143M_s - 1.051M_s+7.285$	3.173	$4.5 \leq M_s \leq 8.6$	93.9%
$Mw=0.114m_b^2 - 0.556m_b+5.560$	978	$4.9 \leq m_b \leq 8.2$	72.0%
$Mw=0.787M_E+1.537$	154	$5.2 \leq M_E \leq 7.3$	71.2%
$m_b=0.125M_L - 0.389x+3.513$	722	$3.0 \leq M_L \leq 6.2$	56.1%
$M_L=0.717M_D+1.003$	384	$3.0 \leq M_D \leq 5.8$	29.1%

4.3.2 Pemisahan Gempa Utama

Kriteria empirik untuk pemisahan gempa dilakukan untuk mengambil gempa utamanya (*main shocks*) saja dan menghilangkan gempa awalan/susulan (*before/after shocks*) dengan menggunakan kriteria empiris yang diajukan oleh beberapa ahli Garner dan Knopoff (1974); Arabasz dan Robinso (1976); dan Urhammer (1986). Beberapa kriteria empirik tersebutdikembangkan berdasarkan suatu rentang waktu dan jarak terntentu dari satu kejadian gempa (Irysam *et al*, 2010). Pemisahan gempa dependen dan independen pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program komputer atau *software* yaitu, ZMAP. Karena pemisahan gempa dependen dan independen dengancara manual akan sangat sulit dilakukan.

4.3.3 Analisis kelengkapan Data (*Magnitude Completeness*)

Mengetahui historis kejadian gempa serta ketidakseragaman katalog gempa yang tersedia merupakan faktor utama dalam menentukan hazard gempa suatu daerah dan menilai bahaya *seismic* untuk *site* tertentu. Untuk dapat mengestimasi bahaya gempa melalui analisis *seismic Hazard*, diperlukan data gempa dalam satu kurun waktu tertentu dimana kejadian gempa independen dalam rentang magnitude tertentu dapat dikatakan lengkap dalam suatu katalog, apabila data yang tidak lengkap (*incompleteness*) digunakan dalam analisis *hazard* gempa dapat mengakibatkan parameter *hazard* gempa yang dihasilkan akan menjadi terlalu kecil (*under estimated*) atau terlalu besar (*over estimated*), ketidaklengkapan data gempa akan mengakibatkan parameter risiko gempa menjadi *overestimated* dan *underestimated* (Makrup 2013).

4.3.4 Pemodelan Zona Sumber Gempa

Pemodelan sumber gempa dilakukan untuk menghubungkan data kejadian gempa dengan metode perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat risiko gempa. Sumber gempa dibagi dalam zona subduksi (*megathrust* dan *benioff*) serta zona *shallow crustal* (sesar). Model sumber gempa menunjukkan gambaran distribusi episenter kejadian gempa historik, frekuaensi kejadian gempa dan pergeseran relatif lempeng (*slip-rate)* dari suatu sumber gempa (Irsyam *et al*, 2010). Terdapat dua pemodelan sumber gempa yang digunakan dalam analisis pada penelitian ini, yaitu sumber gempa *fault*, dan sumber gempa subduksi.

a. Sumber Gempa Subduksi

Parameter pemodelan digunakan untuk analisis probabilitas dengan model sumber gempa subduksi adalah area zona subduksi yang dapat ditentukan berdasarkan data hsitoris gempa, koordinat *latitude* dan *longitude*, kemiringan bidang subduksi (*dip*), *rate*, batas kedalaman area subduksi, dan *b-value* dan fungsi atenuasi. Penetuan nilai-b (*b-value*) dilakukan dengan mengumpulkan data histroris kejadian gempa pada daerah sunduksi , kemudian dilakukan analisis statistik dengan metode *Maximum Likelihood (*Irsyam *et al*, 2010).

b. Sumber Gempa *Fault*

Sumber gempa tranformasi berupa sumber gempa sesar aktif (*shallow crustal*). Parameter yang digunakan untuk analisis probabilitas dengan model sumber gempa sesar (*fault*) adalah *latitude* dan *longitude*, *slipt-rate*, *fault trace*, penjang dan lebar *fault* serta mekanisme pergerakan, jumlah sesar yang digunakan dalam penelitian ini sesuai Pusgen 2017 adalah 33 sesar di jawa sesuai dengan radius 500km dari area penelitian.

4.3.5 Funsi atenuasi

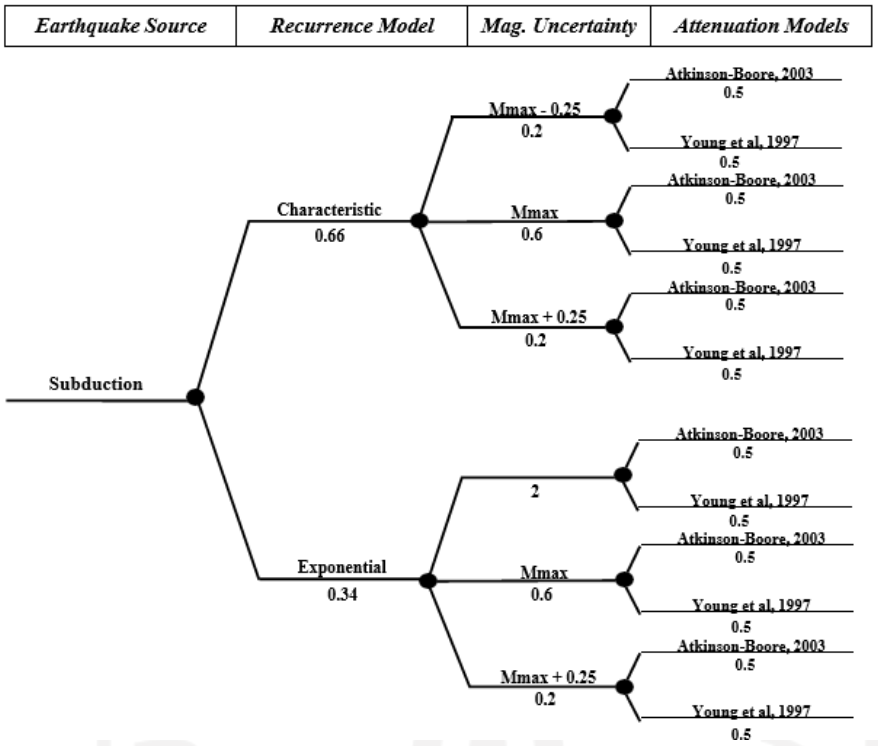
Atenuasi gerakan tanah (*ground motion attenuation*) untuk menurunkan suatu fungsi atenuasi diperlukan data percepatan tanah agar didapatkan suatu fungsi atenuasi yang baik untuk suatu daerah penelitian. Karena memang belum belum tersedia fungsi atenuasi diturunkan berdasarkan geempa-gempa di Indonesia, maka pemakaian fungsi atenuasi dari negara lain dapat digunakan penggunaan persamaan dari negara lain dijadikan sebagai alternatif, pemilihan persamaan E negara lain didasarkan pada kesamaan kendisi geologi dan tektonik Indonesia. Pada penelitian ini, pemilihan persamaan merujuk pada penelitian terdahulu serta menyesuaikan dengan ketersediaan persamaan yang ada dalam *software* SR Model, persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber gempa subduksi, untuk model sumber gempa subduksi :
   a) Atenuasi Youngs *et al* (1997)
   b) Atenuasi Atkinson – Boore (2003).
2. Sumber gempa *shallow crustal*, untuk model sumber gempa *fault* :
   a) Sadigh et al., (1997)
   b) Boore-Atkinson (2006) NGA
   c) Chiou-Young (2008) NGA.

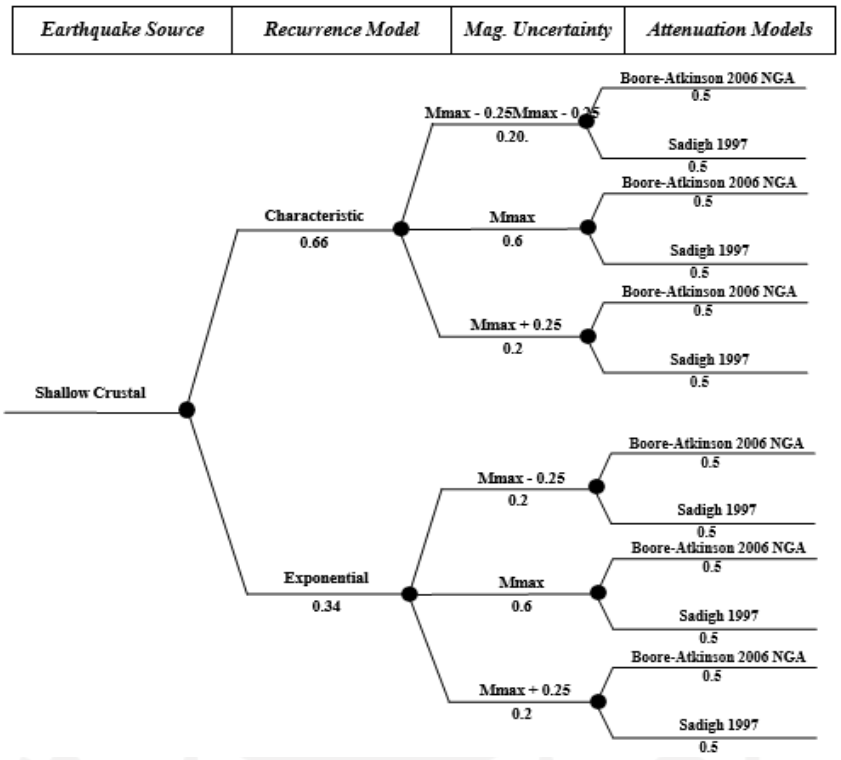
4.3.6 *Logic Tree*

Logic tree digunakan untuk solusi perhitungan ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter gempa dalam analisis *seismic hazard*. Parameter gempa adalah magnitude maksimum, pemilihan model (*recurrence model*), persamaan atenuasi dan *reccurence rate*. Model dalam analisis dengan diberikan faktor

pembobot pada masing- masing parameter maka *logic tree* akan mengontrol tingkat keakuratan dari penggunaan parameter yang telah dipilih. Setiap parameter yang dipilih kemudian diberikan suatu bobot, jumlah bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan 1. *Logic tree* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawa ini yaitu pada **Gambar 4.1** untuk sumber gempa subduksi dan **Gambar 4.2** untuk sumber gempa *shallow crustall* .



Gambar 4.1 *Logic Tree* untuk sumber gempa subduksi



Gambar 4.2 *Logic Tree* untuk sumber gempa *shallow crustal*

4.3.7 Analisis *Seismic Hazard*

Analisis *seismic hazard* pada penelitian menggunakan menggunakan teori probabilitas total Cornell (1968 dan 1971), namun model dari analisis dan teknik perhitungannya yang dikembangkan oleh McGuire (1976). Analisis *hazard* mengacu teori probabilitas total merupakan probabilitas jarak dan magnitude serta mempertimbangkan ketidaktentuan parameter magnitude, jarak dan intensitas terlampaui. Analisis *seismic hazard* gempa dilakukan dengan bantuan *software* SR Model yang dikembangkan oleh Makrup, LL., (2009). Hasil akhir dari analisis *hazard* gempa pada penelitian ini adalah percepatan gempa maksimum PGA, T 0.2, T 1 dibatuan dasar dan permukaan untuk probabilitas terlampaui 2%, 10% dalam 50 tahun.

4.3.8 Deagregasi *Hazard* Gempa

Analisis deagregasi dilakukan untuk memperoleh *controlling earthquake* atau gempa yang memberikan kontribusi terbesar terhadap *hazard* gempa pada suatu daerah. Informasi yang akan disajikan berupa sumber gempa dominan, magintude dominan, dan jarak dominan. Analisi deagregasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SR Model (Makrup, LL., 2009). Deagregasi *site* yang akan dilakukan analisis respon dinamika tanah adalah Semarang,Pati,

Solo, dan Kebumen. **Tabel 4.2** menunjukkan koordinat daerah yang akan dilakukan analisis respon dinamika tanah.

Tabel 4.2. Koordinat daerah penelitian.

No.	Daerah	Koordinat	
		Long	Lat
1	Solo	110.7878	-7.5758
2	Pati	111.1262	-6.8863
3	Semarang	110.2936	-7.1047

4.8.9 Pembuatan *Synthetic Gorund Motion*

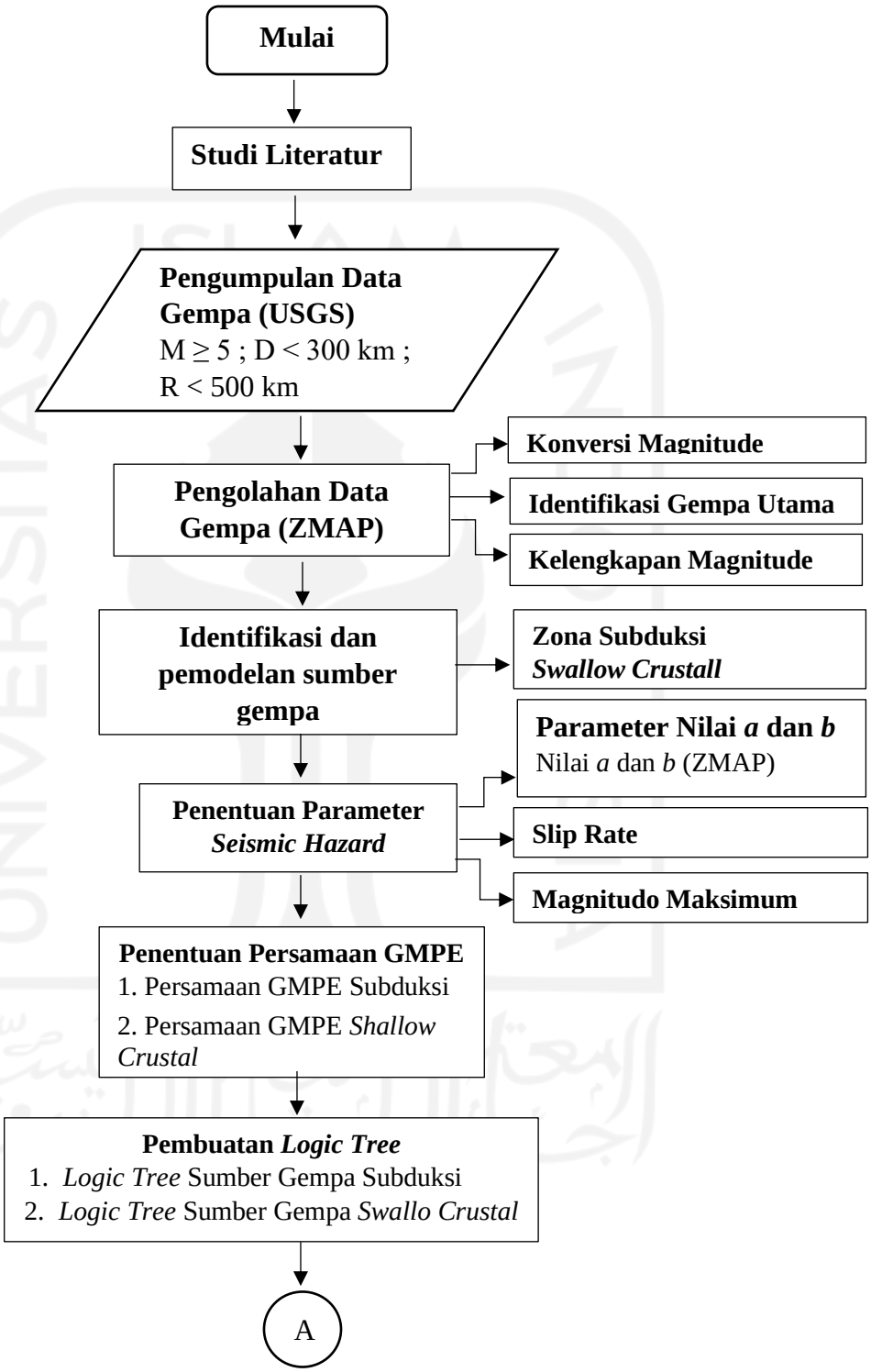
Pada analisis deagregasi hazard akan diketahui rata-rata magnitude (*M*) dan jarak (*R*) paling dominan yang berpengaruh pada suatu wilayah yang memberikan konstribusi terbesar, sehingga dapat ditentukan *ground motion* gempa yang memiliki karakteristik yang hampir sama dengan lokasi yang ditinjau. Perhitungan *Ground motion* sintetik pada penelitian ini dengan menggunakan bantuan program *spectral matching* dengan input data yang terdiri dari target spektra, *intensity envelopefunction*, nilai PGA, waktu interval dan *damping ratio*. Hasil dari *ground motion* sintetik dapat dijadikan alternatif dibuat dengan menskalakan input accelerometer yang memiliki karakteristik yang sama dengan hasil deagregasi terhadap target spektra yang telah ditentukan.

4.8.10 Analisis Respon Dinamika Tanah

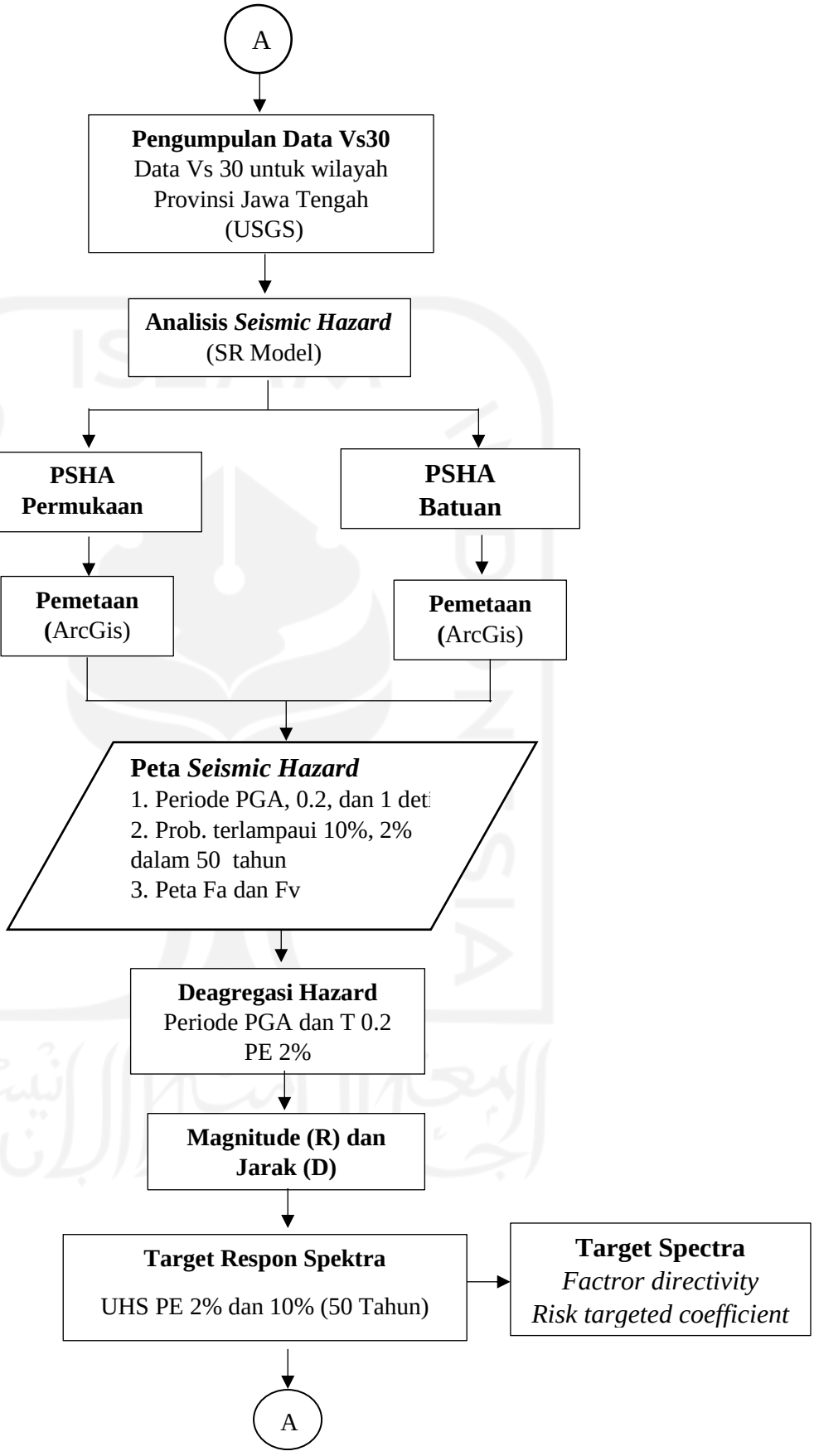
Analisis respon dinamika tanah dilakukan pada tiga daerah tinjauan yaitu Solo, Pati, Semarang dilakukan secara vertikal menggunakan teori perambatan gelombang. Analisis menggunakan input *ground motion* sintetik di batuan dasar yang di dapat berdasarkan hasil analisis deagregasi dan proses *spectral matching*. Proses analisisrespon dinamika tanah meliputi perambatan penentuan parameter dinamik tanah untuk masing-masing daerah yang ditinjau serta perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah. Proses perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah dilakukan dengan bantuan *software* Deepsoil v7.

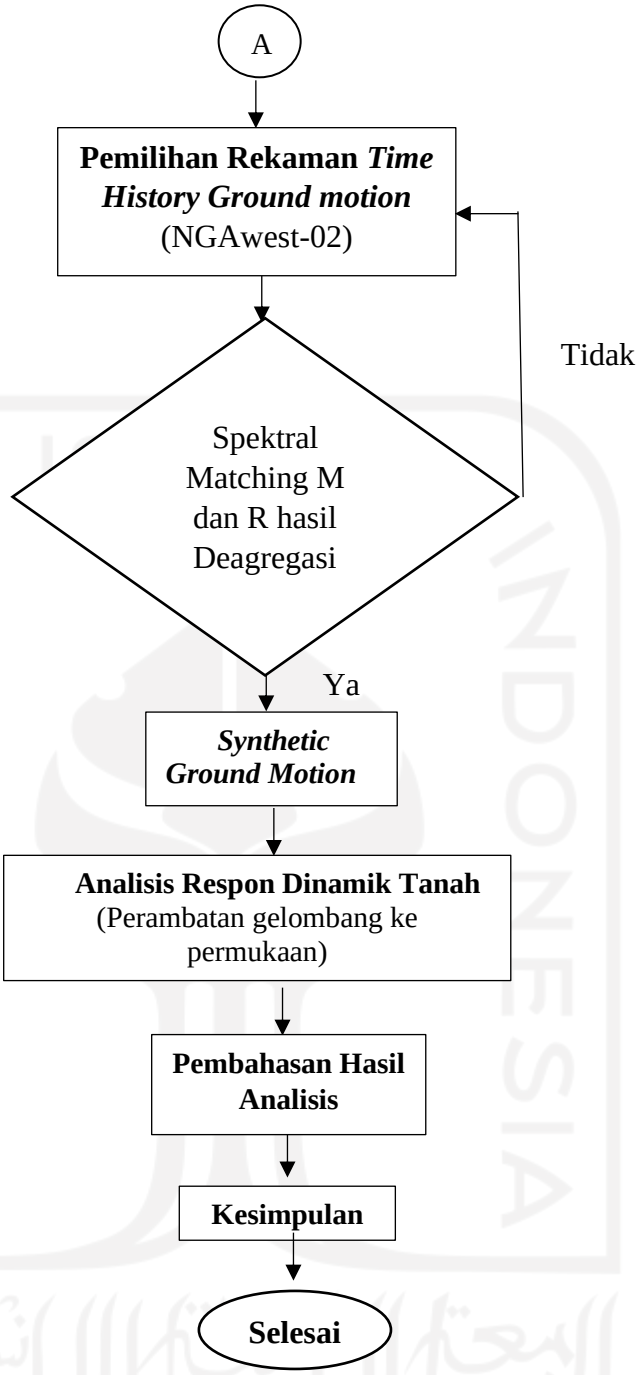
4.4 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian dapat dirangkum dalam diagram alir sebagaimana ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4.3 Diagram Alir Penelitian


A
Pengumpulan Data Vs30
Data Vs 30 untuk wilayah Provinsi Jawa Tengah (USGS)
Analisis Seismic Hazard
(SR Model)
PSHA Permukaan
PSHA Batuan
Pemetaan (ArcGis)
Pemetaan (ArcGis)
Peta Seismic Hazard
1. Periode PGA, 0.2, dan 1 det
2. Prob. terlampaui 10%, 2% dalam 50 tahun
3. Peta Fa dan Fv
Deagregasi Hazard
Periode PGA dan T 0.2
PE 2%
Magnitude (R) dan Jarak (D)
Target Respon Spektra
UHS PE 2% dan 10% (50 Tahun)
Target Spectra
Factror directivity
Risk targeted coefficient
A


A
Pemilihan Rekaman *Time History Ground motion* (NGAwest-02)
Spektral Matching M dan R hasil Deagregasi
Tidak
Ya
Synthetic Ground Motion
Analisis Respon Dinamik Tanah (Perambatan gelombang ke permukaan)
Pembahasan Hasil Analisis
Kesimpulan
Selesai

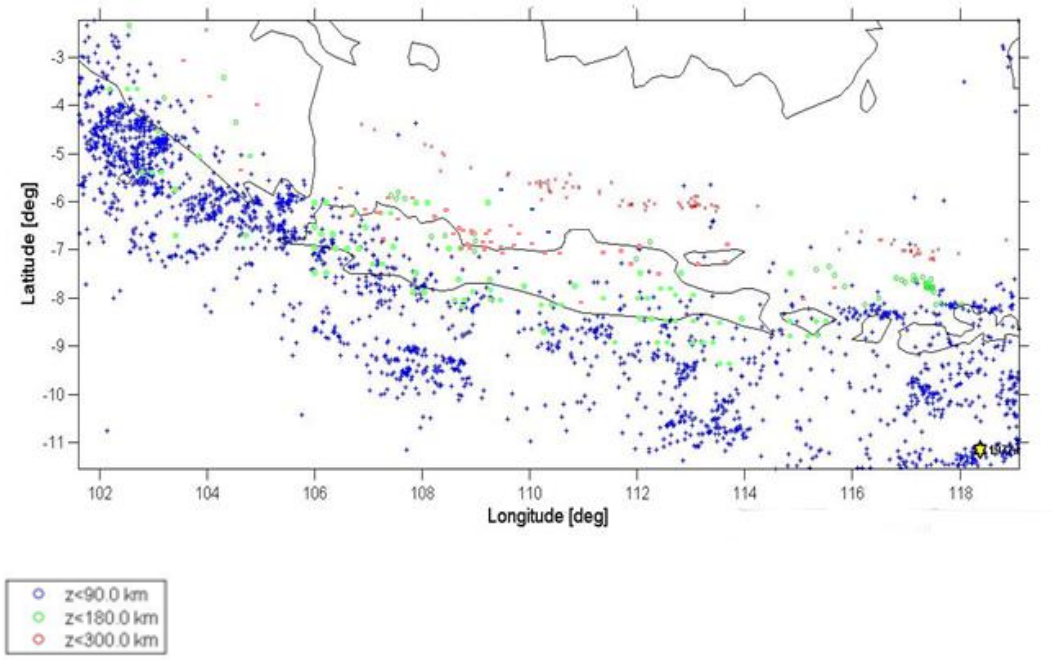
BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Gempa

Data gempa yang digunakan pada penelitian ini dari adalah data historis kejadian gempa yang diambil dari USGS meliputi luas wilayah pengambilan dibatasi pada radius 500 km dari batas administrasi Provinsi Jawa Tengah atau wilayah dengan batas koordinat 108.30 BT – 111.30 BT dan 5.40 LS – 8.30 LS. Data gempa dibatasi dengan magnitude (Mw) minimum 5 dan kedalaman maksimum 300 km. Data katalog gempa yang dipergunakan dari tahun 1950 hingga Juli 2021.

5.1.1 Penyeragaman Magnitude Gempa

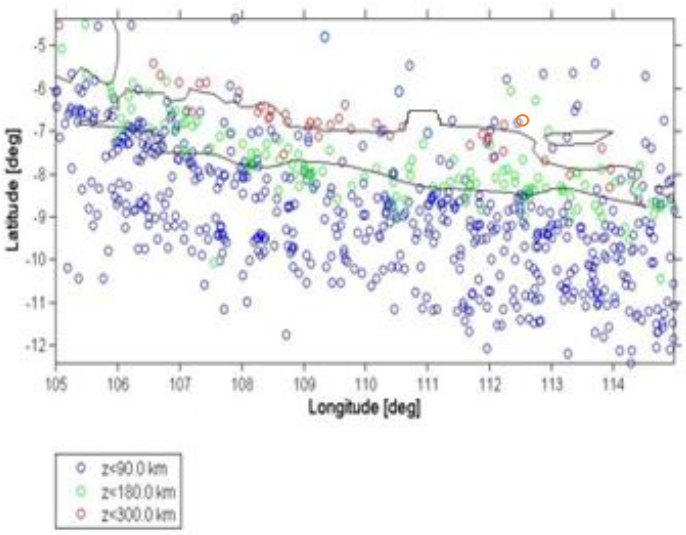
Data gempa dari USGS tahun 1950-2021 terdiri dari bermacam jenis magnitude. Selanjutnya, dilakukan penyeragaman jenis magnitude, konversi magnitude bertujuan untuk menyetarakan magnitude gempa dari berbagai skala dan katalog gempa. Pada penelitian ini, konversi magnitude dilakukan dengan mengacu pada korelasi konversi dari Asrurifak, 2010 pada Tabel 4.1. Hasil dari konversi magnitude diperoleh data gempa dengan magnitude minimum (Mw) 5 dan kedalaman maksimum 300 km pada **Gambar 5.1.**



Gambar 5.1 Data gempa dari katalog USGS tahun 1950-2021 dengan magnitude Mw≥5 dan kedalaman ≤ 300 km.

5.1.2 Pemisahan Gempa Utama dan Gempa Ikutan

Data yang akan digunakan analisis *hazard* adalah gempa-gempa utama (*mainshock*), sehingga perlu untuk pemisahan gempa utama dan gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*). Pada penelitian ini, proses pemisahan gempa utama (*declustering*) dilakukan dengan menggunakan kriteria rentang jarak dan waktu yang diusulkan oleh Gardner dan Knopoff (1974). Hasil dari pemisahan gempa utama dengan gempa ikutan diperoleh 696 kejadian (*event*) gempa yang ditunjukkan pada **Gambar 5.2**



Gambar 5.2 Data gempa utama setelah dipisahkan dari gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*) .

5.2 Pemodelan Sumber Gempa

Pemodelan zona sumber gempa berdasarkan metodologi dalam bab tiga point 3.5, penulis menyusun pemodelan sumber gempa meliputi pemodelan gempa subduksi, benioff dan *shallow Crustal.*

5.2.1 Pemodelan Sumber Gempa Subduksi

Berdasarkan pemodelan subduksi ter-*update* pada peta *hazard* Indonesia 2017, pada segmen Jawa dibagi menjadi tiga segmen yaitu segmen selat Sunda-Banten, Segmen Jawa Barat, dan Segmen Jawa Tengah-Jawa Timur (Pusgen 2017). Sumber gempa subduksi terdiri dari zona *megathrust* dan *benioff*, zona *megathrust* terletak antara pertemuan lempeng lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia, zona *benioff* kelanjutan dari zona *megathrust* dengan sudut penunjaman yang relatif lebih besar. Sumber gempa subduksi yang digunakan adalah hingga kedalaman 50 km

zona *megathrust*, sedangkan kedalaman di atas 50 km diakomodasi dalam sumber gempa *benioff*. Pemodelan sumber gempa dalam analisis *hazard*gempa wilayah Jawa ini menyesuaikan dengan spesifikasi yang dimiliki *software* SR Model, pemodelan sumber gempa dilakukan dengan melakukan interpretasi terhadap geologi, seismotektonik, geofisika berdasarkan katalog gempa yang digunakan. Pemodelan segmen subduksi dalam penelitian ini dibuat oleh penulis dengan jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dibatasi hingga 500 km dapat dilihat pada bab tiga **Gambar 3.7**.

5.2.2 Pemodelan *Swallow Crustal*

Berdasarkan pemodelan sesar terbaru ter-*update* pada peta *hazard* Indonesia 2017, terdapat 37 sesar aktif di pulau Jawa yang sebelumnya hanya 10 sesar aktif, pemodelan gempa *benioff* merupakan kelanjutan dari gempa zona *megathrust* dengan sudut penunjaman yang relatif lebih besar. Sumber gempa *shallow crustal* terdiri dari sesar (*fault*) aktif di sekitar wilayah Jawa. Pemodelan segmen sesar dalam penelitian ini dibuat oleh penulis dengan jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dibatasi hingga 500 km dapat dilihat dalam Gambar 5.3.

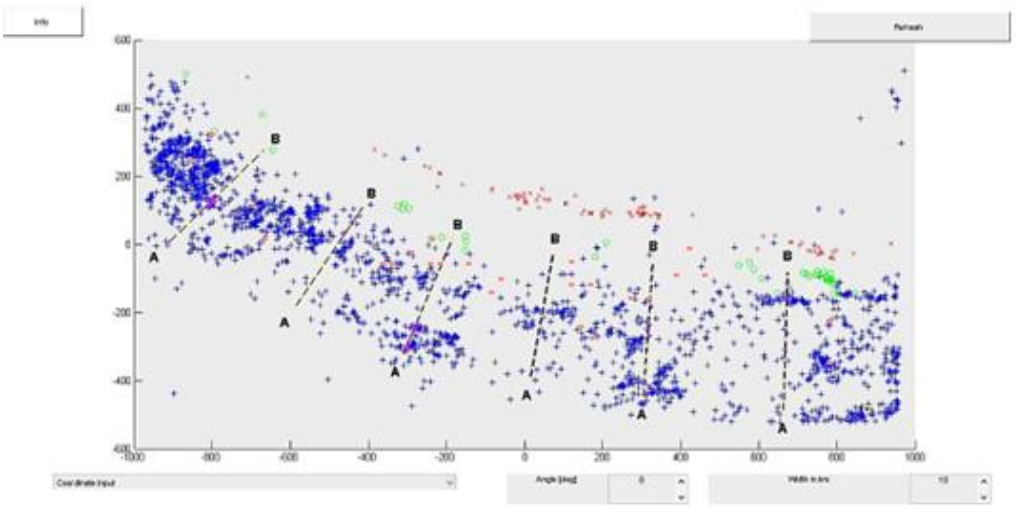


Gambar 5.3 Identifikasi dan pemodelan sumber gempa *swallo Crustal* untuk wilayah Jawa Tengah.

5.3 Karakteristik Sumber Gempa

Pada pemodelan gempa tiga dimensi, diperlukan juga sudut penunjaman (*dip*) zona subduksi di Jawa dan sekitarnya. Menurut widiyantoro (2009), gambaran umum *dip* zona subduksi dapat diperoleh dari model tomografi maupun dari potongan melintang distribusi hiposenter di sekitar wilayah yang di tinjau. Pada

penelitian ini, gambaran umum *dip* zona subduksi diperoleh berdasarkan enam area potongan melintang distribusi hiposenter di area penelitian ditunjukkan **Gambar 5.4**



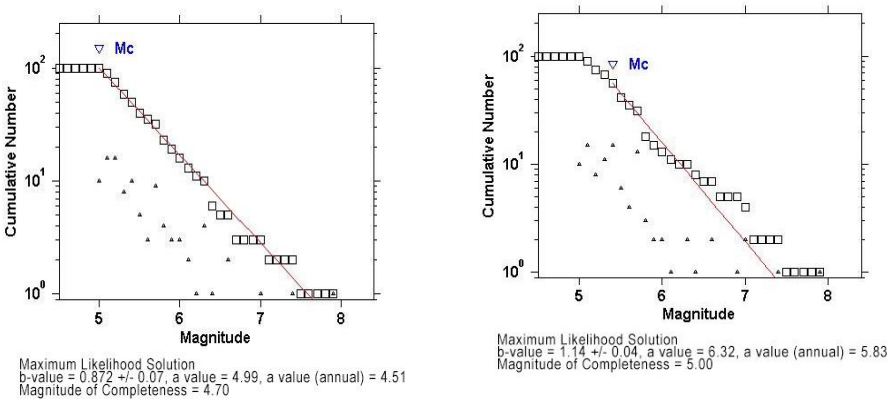
Gambar 5.4 Letak enam potongan melintang untuk menentukan sudut penunjaman di zona subduksi Jawa dan sekitarnya.

Salah satu faktor untuk menentukan dalam analisis *hazard* gempa adalah karakteristik sumber gempa berdasarkan kondisi geologi dan seimotektonik di daerah penelitian. Karakter sumber gempa akan menghasilkan parameter yang nantinya digunakan dalam analisis seismik *hazard*, parameter tersebut adalah penetuan nilai-a, nilai-b, magnitudo maksimum dan *slip rate*.

5.3.1 Parameter Nilai-a dan Nilai-b

Perhitungan penentuan nilai-a dan nilai-b untuk model distribusi magnitude menggunakan Gutenberg- Richter dilakukan dengan metode *maximum likelihood* terdapat pada bab tiga subbab 3.6.2-3.6.3 dengan menggunakan bantuan dengan *software* ZMAP (Wiemer, 2001).

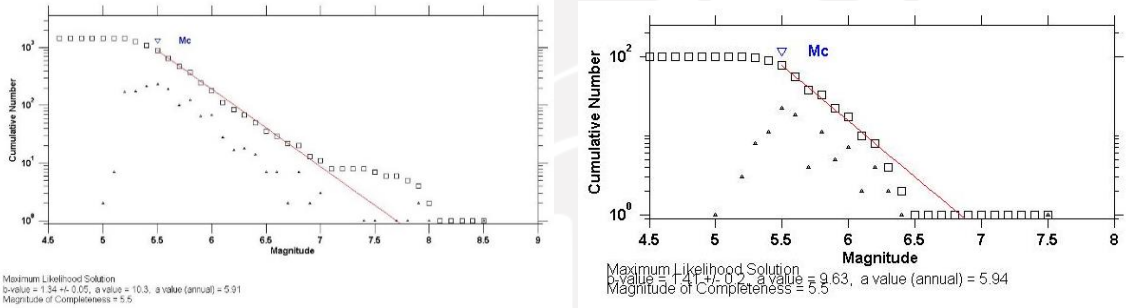
Zona *Megathrust* S.Sumatera didapatan nilai-b = 0.872 dan nilai-a = 4.51, sumber gempa *Benioff* S.Sumatera didapatkan nilai-b = 1.14 dan nilai-a =5.83, dapat dilihat pada **Gambar 5.5** sebagai berikut.



a. *Megathrust* S.Sumatera **b. *Benioff* S.Sumatera**

Gambar 5.5 Penentuan nilai-a dan nilai-b untuk zona subduksi Sumatera.

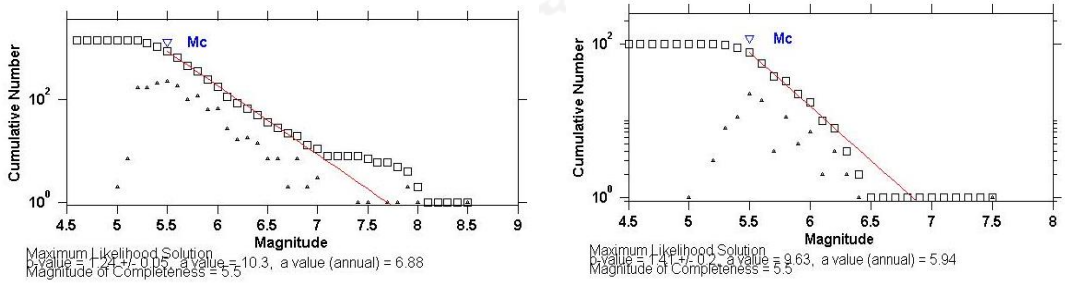
Zona *megathrust* Jawa 1 memiliki nilai-b = 1.34 dan nilai-a = 5.91, sedangkan zona *benioff* nya memiliki nilai-b = 1.41 dan nilai a = 5.94. Dapat dilihat pada **Gambar 5.6** sebagai berikut.



a. *Megathrust* Jawa 1 **b. *Benioff* Jawa 1**

Gambar 5.6 Penentuan nilai-a dan nilai-b untuk zona subduksi Jawa 1.

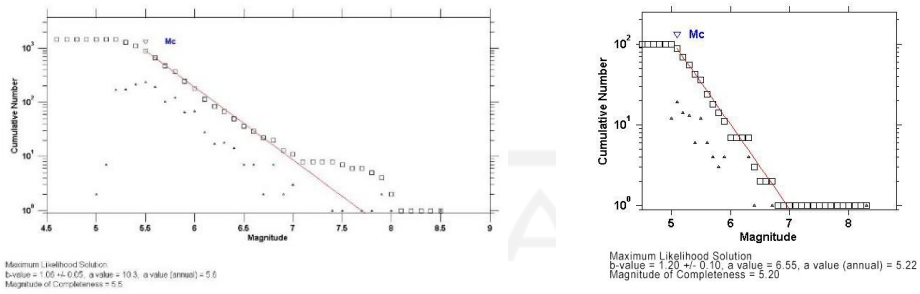
Zona *megathrust* Jawa 2 memiliki nilai-b = 1.1 dan nilai-a = 6.14, sedangkan zona *benioff* nya memiliki nilai-b = 1.18 dan nilai a= 6.12. Dapat dilihat pada **Gambar 5.7** sebagai berikut.



a. *Megathrust* Jawa 2 **b. *Benioff* Jawa 2**

Gambar 5.7 Penentuan nilai-a dan nilai-b untuk zona subduksi Jawa 2.

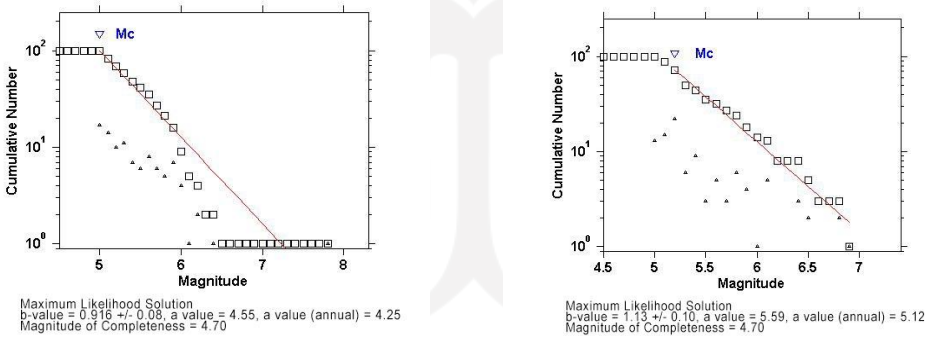
Zona *megathrust* Jawa 3 memiliki nilai-b = 1.10 dan nilai-a = 5.16, sedangkan zona *benioff* nya memiliki nilai-b = 1.20 dan nilai a =5 . 2 2 . Dapat dilihat pada **Gambar 5.8** sebagai berikut.



a. *Megathrust* Jawa 3 **b. *Benioff* Jawa 3**

Gambar 5.8 Penentuan nilai-a dan nilai-b untuk zona subduksi Jawa 3.

Zona *megathrust* Jawa 4 memiliki nilai-b = 1.20 dan nilai-a = 6.81, sedangkan zona *benioff* nya memiliki nilai-b = 1.25 dan nilai a = 6.78. Dapat dilihat pada **Gambar 5.9** sebagai berikut.



a. *Megathrust* Jawa 4 **b. *Benioff* Jawa 4**

Gambar 5.9 Penentuan nilai-a dan nilai-b untuk zona subduksi Jawa 4.

5.3.2 Magnitude Maksimum dan *Slip Rate*

Magnitude maksimum adalah nilai yang ditentukan pada gambaran gempa terbesar yang diperkirakan dapat terjadi pada suatu wilayah yang akan ditinjau. Apabila pengamatan yang dilakukan cukup lama dibandingkan dengan periode ulang gempa maksimum yang mungkin terjadi maka magnitude historis maksimum dapat digunakan sebagai magnitude maksimum. Disamping itu menurut Fauzi, (2011) dalam Sunardi (2012) dapat juga dipertimbangkan magnitude maksimum

berdasarkan perkiraan momen seismik akibat struktur tektonik dan pergeseran batuan suatu wilayah.

Slip rate adalah penggambaran kecepatan pergerakan zona gempa lempeng/patahan relatif terhadap zona lainnya, penentuan nilai *Slip rate* dari hasil evaluasi terhadap kejadian gempa dan kondisi tektonik tersebut. Pada penelitian ini, nilai dip, bottom, maksimum *magnitude* dan *slip rate* yang digunakan berdasarkan nilai yang tercantum pada Pusgen 2017 dan perhitungan dan penelitian yang dilakukan dari Asrurifak (2010), Firmansyah dan Irsyam (1999) serta Kertapati (1999) dalam Erlangga (2018) yang dapat dilihat pada **Tabel 5.1-5.2** sebagai berikut.

Tabel 5.1 Karakterisasi sumber gempa subdaksi

No	Zona	Nilai a	Nilai b	Mmin	Rate (ν)
1	Megathrust S. Sumatera	4.51	0.87	5	1.096
2	Benioff S. Sumatera	5.83	1.14	5	3.162
3	Megathrust Jawa 1	5.91	1.34	5	3.311
4	Benioff Jawa 1	5.94	1.41	5	2.512
5	Megathrust Jawa 2	6.88	1.24	5	3.421
6	Benioff Jawa 2	5.64	1.51	5	2.609
7	Megathrust Jawa 3	5.66	1.06	5	3.241
8	Benioff Jawa 3	5.23	1.20	5	2.413
9	Megathrust Jawa 4	6.81	1.27	5	3.114
10	Benioff Jawa 4	6.78	1.25	5	3.673

Tabel 5.2 Karakterisasi sumber gempa *shallow crustal*

No	Segmen	Dip	Top	Bottom	b	a	Rate (ν)
1	Ujung Kulon A	90	3	18	1	6.810	0.940
2	Ujung Kulon B	90	3	18	1	6.780	0.940
3	Cimandri	45S	3	18	1	3.406	0.081
4	Nyilindung Cibeber	45S	3	18	1	3.232	0.054
5	Rajamandala	90	3	18	1	2.648	0.014
6	Lembang	90	3	18	1	3.985	0.153
7	Subang	45S	3	18	1	2.630	0.013
8	Ciremai	90	3	18	1	2.630	0.013
9	Cirebon	45S	3	18	1	2.630	0.013
10	Cirebon 2	45S	3	18	1	2.630	0.013
11	Karang Malang	45S	3	18	1	2.630	0.013
12	Brebes	45S	3	18	1	2.630	0.013
13	Tegal	45S	3	18	1	2.630	0.013
14	Ajibarang	90	3	18	1	2.630	0.013
15	Pemalang	45S	3	18	1	2.630	0.013
16	Pekalongan	45S	3	18	1	2.630	0.013
17	Weleri	45S	3	18	1	2.630	0.013
18	Muria	45S	3	18	1	2.630	0.013
19	Demak	45S	3	18	1	2.630	0.013

20	Purwodadi	45S	3	18	1	2.630	0.013
21	Ungaran 1	45S	3	18	1	2.630	0.013
22	Ungaran 2	45S	3	18	1	2.630	0.013
23	Semarang	45S	3	18	1	2.630	0.013
24	Rawapening	45S	3	18	1	2.630	0.013
25	Pati	90	3	18	1	2.648	0.024
26	Merapi Merbabu	90	3	18	1	2.648	0.014
27	Opak	60E	3	18	1	3.527	0.053
28	Cepu	45S	3	18	1	2.630	0.013
29	Waru	45S	3	18	1	2.329	0.007
30	Surabaya	45S	3	18	1	2.630	0.013

5.4 Fungsi Atenuasi

Hingga saat ini belum ada fungsi atenuasi yang diturunkan berdasarkan geempa-gempa di Jawa, maka pemakaian fungsi atenuasi dari negara lain dapat digunakan. Penentuan penggunaan fungsi atenuasi didasarkan pada rentang deviasi yang kecil serta diturunkan mekanisme gempa yang mirip dengan kondisi seismotektonik di Jawa. Pada penelitian ini penulis menggunakan fungsi atenuasi yang tersedia pada *software*SRModel yang akan digunakan untuk analisis *seismic hazard*. Berikut ini fungsi atenuasi yang digunakan untuk masing-masing model sumber gempa yaitu sebagai berikut.

1. Fungsi atenuasi untuk sumber gempa *shallow crustal* (*fault* atau sesar) diantaranya sebagai berikut.
   a. Fungsi Atenuasi Boor-Atkinson (2006-NGA)
   b. Fungsi Atenuasi Sadigh (1997)
   c. Fungsi Atenuasi Chiou-Young (2006-NGA)
2. Fungsi atenuasi untuk sumber gempa subduksi (*Megathrust* dan *Benioff*) diantaranya sebagai berikut.
   a. *Geomatrix subduction* Youngs et al.,(1997)
   b. Atkinson Boore, (2003)

5.5 *Logic Tree*

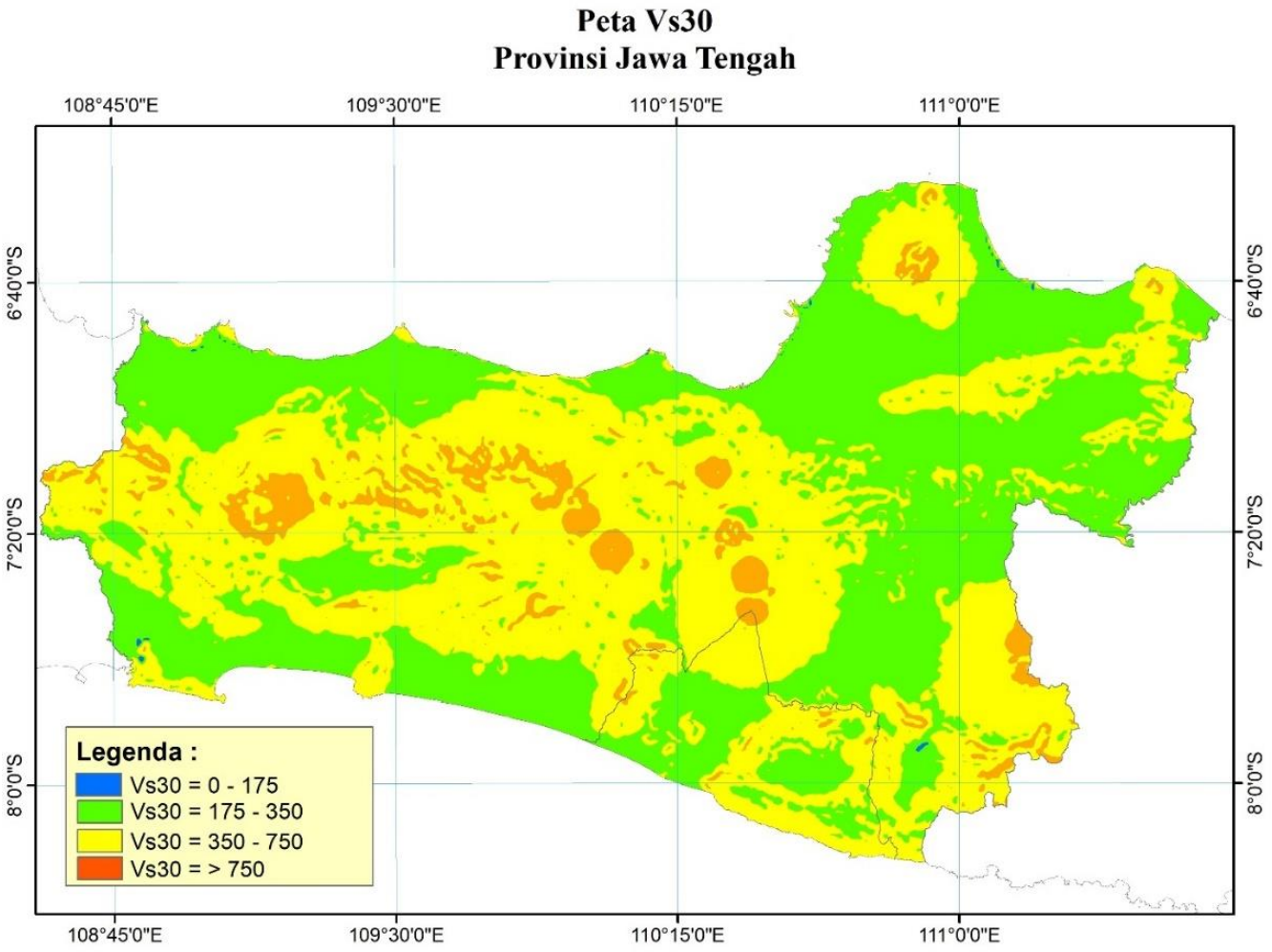
Dalam penelitian ini fungsi *logic tree* yaitu berperan untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam menentukan parameter dalam analisis *hazard* gempa, antara lain *recurrence model*, fungsi atenuasi, *recurrence rate* dan *magnitude* maksimum. Peran *logic tree* akan memberikan kerangka yang lebih tepat dalam memperbaiki hasil analis ketidakpastian *uncertainty*) dapat dikurangi melalui berbagai macam skenario kemungkinan yang dibuat pada *logic tree*, dengan memberikan

pembobotan masing-masing model yang akan dihitung dalam analisis. Parameter pembobotan dari semua alternatif metode harus sama dengan satu.

Penggunaan *logic tree* dalam penelitian ini adalah model *recurrence exponential* (Gutenberg-Richter) diberikan bobot 0.34 dan model karakteristik (*characteristic*) diberikan bobot 0.66 dapat dilihat pada **Gambar 4.1** untuk sumber subduksi dan **Gambar 4.2** untuk sumber gempa *shallow crustal.*

5.6 Peta Vs_{30} Provinsi Jawa Tengah

Menurut Luzi dkk (2001) Vs30 adalah kecepatan gelombang *shear* pada kedalaman 30 m teratas yang memberi gambaran efek lokal saat terjadinya gempa bumi saat mengguncang wilayah tertentu. Pada SNI 1726-2019 mengklasifikasi tipe tanah untuk desain teknik kegempaan dari kelas situs SE sampai kelas situs SA. Kelas situs atau klasifikasi situs tanah berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi akibat efek lokal didasarkan pada data Vs_{30} pada penelitian ini data diunduh dari USGS, kecepatan gelombang (Vs) merupakan parameter untuk mengevaluasi sifat dinamika tanah. Hasil penelitian yang dilakukan mendekati hasil penelitian yang dilakukan oleh Widodo (2018), mengenai *Site Coefficient of Short Fa and Long period Fv Maps Constructed from the Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Yogyakarta Special Province* yang di sajikan pada bab tiga **Gambar 3.12.** Berdasarkan SNI 1726 – 2019 tentang klasifikasi kelas situs tanah menjelaskan bahwa terdapat 5 kelas situs yaitu kelas situs A hingga E dengan struktur batuan keras hingga tanah lunak. Pada **Gambar 5.10** hasil anallisis nilai Vs30 <175 m/s menunjukkan kelas situs SE dengan deskripsi jenis tanah lunak, nilai Vs30=175-350 m/s menunjukkan kelas situs SD dengan deskripsi jenis tanah sedang, nilai Vs350-750 m/s menunjukkan kelas situs SC dengan deskripsi jenis tanah keras, sangat padat dan batuan lunak, nilai Vs>750 m/s menunjukkan kelas situs SB dengan deskripsi jenis batuan sedang.



Gambar 5.10 Peta Vs30 Provinsi Jawa Tengah

5.7 Hasil Analisis *Hazard* Gempa (PSHA)

Pada penelitian ini, penulis sebelum melakukan analisis PSHA melalukan verifikasi pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017, verifikasi dilakukan dengan PSHA berdasarkan model dan parameter sumber gempa pada wilayah Jawa Tengah. Berdasarkan pemodelan sesar terbaru ter-*update* pada peta *hazard* Indonesia 2017, terdapat 37 sesar aktif di pulau Jawa yang sebelumnya hanya 10 sesar aktif, pemodelan gempa *benioff* merupakan kelanjutan dari gempa zona *megathrust* dengan sudut penunjaman yang relatif lebih besar. Sumber gempa *shallow crustal* terdiri dari sesar (*fault*) aktif di sekitar wilayah Jawa. Pemodelan segmen sesar dalam penelitian ini dibuat oleh penulis dengan jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dibatasi hingga 500 km dapat dilihat dalam Gambar 5.3. Berdasarkan pemodelan subduksi ter-*update* pada peta *hazard* Indonesia 2017, pada segmen Jawa dibagi menjadi tiga segmen yaitu segmen selat Sunda-Banten,

Segmen Jawa Barat, dan Segmen Jawa Tengah-Jawa Timur (Pusgen 2017). Sumber gempa subduksi terdiri dari zona *megathrust* dan *benioff*, zona *megathrust* terletak antara pertemuan lempeng lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia, zona *benioff* kelanjutan dari zona *megathrust* dengan sudut penunjaman yang relatif lebih besar. Sumber gempa subduksi yang digunakan adalah hingga kedalaman 50 km zona *megathrust*, sedangkan kedalaman di atas 50 km diakomodasi dalam sumber gempa *benioff*.

Pada penelitian yang di lakukan analisis *hazard* gempa dilakukan secara probabilistik dengan bantuan *software* SR Model pada perioda PGA, 0.2 detik, 1.0 detik dengan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (perioda ulang 475 tahun) dan 2% dalam 50 tahun (perioda ulang 2475 tahun).

Pada **Gambar 5.11-5.12** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa berupa peta percepatan gempa maksimum dibatuan dasar untuk probabilitas PGA 10% dan 2% dalam 50 tahun. Pada percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.6g, sedangkan untuk percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.2 g – 1g.

Pada **Gambar 5.13-5.14** menunjukkan peta hasil analisis PSHA gempa berupa peta respon spektra pada T 0.2 dibatuan dasar untuk probabilitas 10% dan 2% dalam 50 tahun, menunjukkan hasil analisis *hazard* gempa berupa peta respon spektra pada periode 0.2 detik di batuan dasar probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (perioda ulang 475 tahun) dan 2% dalam 50 tahun (perioda ulang 2475 tahun). Analisis yang akan dilakukan secara probabilistik dengan bantuan *software* SR Model. Pada peta di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 2.0g, sedangkan untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.3 g – 2.5g.

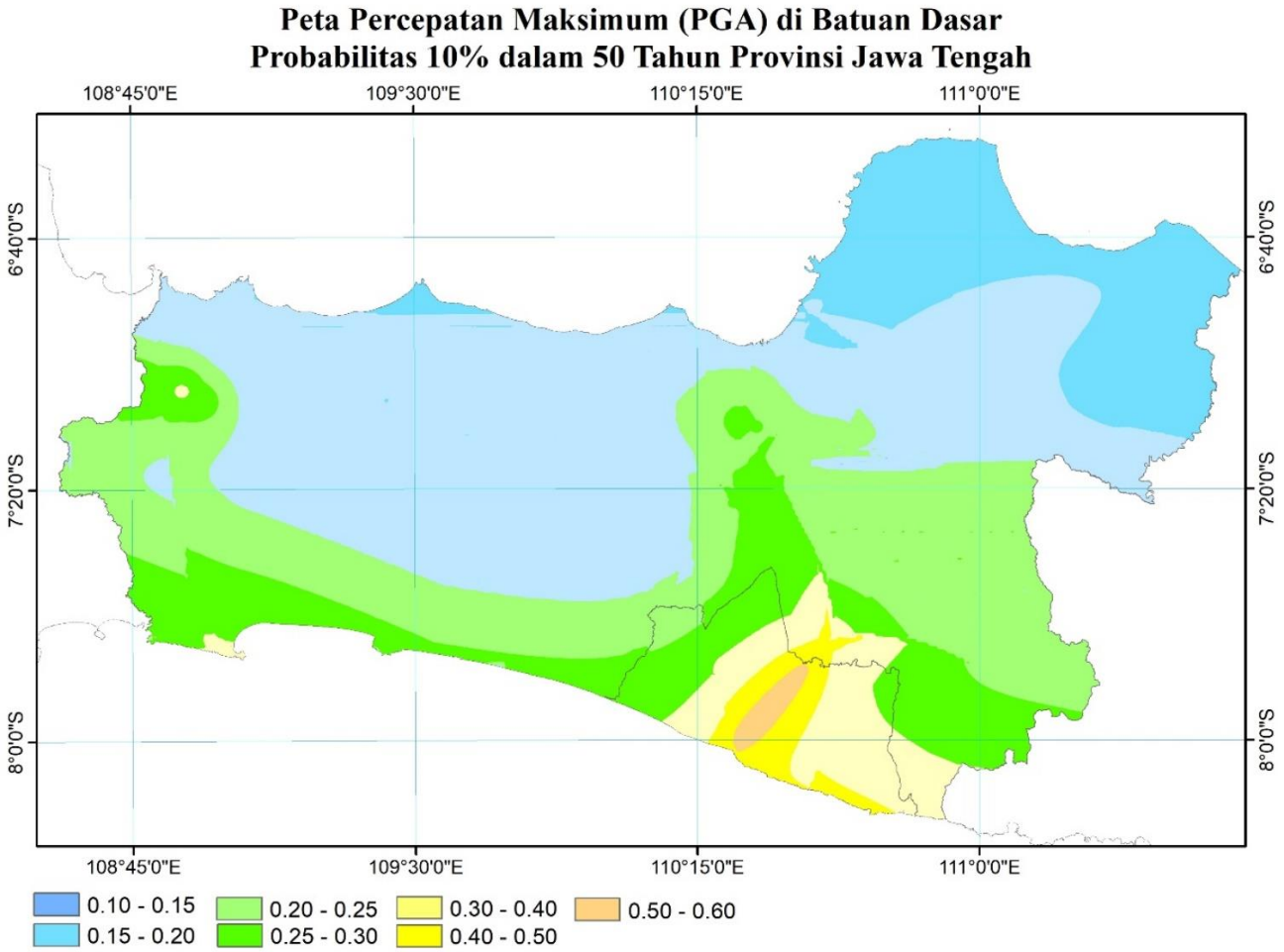
Pada **Gambar 5.15-5.16** menunjukkan hasil analisis *hazard* gempa berupa peta respon spektra pada periode 1 detik di batuan dasar probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (perioda ulang 475 tahun) dan 2% dalam 50 tahun (perioda ulang 2475 tahun). Analisis yang akan dilakukan secara probabilistik dengan bantuan *software* SR Model. Pada peta di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.05g – 2.6g, sedangkan untuk

probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15 g – 0.8g.

Pada **Gambar 5.17-5.18** menunjukkan hasil analisis *hazard* gempa berupa peta percepatan gempa maksimum (PGA) di permukaan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (perioda ulang 475 tahun) dan 2% dalam 50 tahun (perioda ulang 2475 tahun). Analisis yang akan dilakukan secara probabilistik dengan bantuan *software* SR Model. Pada peta di permukaan untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.7g, sedangkan untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.2g – 1.0g.

Pada **Gambar 5.19-5.20** menunjukkan hasil analisis *hazard* gempa berupa peta respon spektra pada periode 0.2 detik di permukaan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (perioda ulang 475 tahun) dan 2% dalam 50 tahun (perioda ulang 2475 tahun). Analisis yang akan dilakukan secara probabilistik dengan bantuan *software* SR Model. Pada peta di permukaan untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 2.0g, sedangkan untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.3 g – 2.5g.

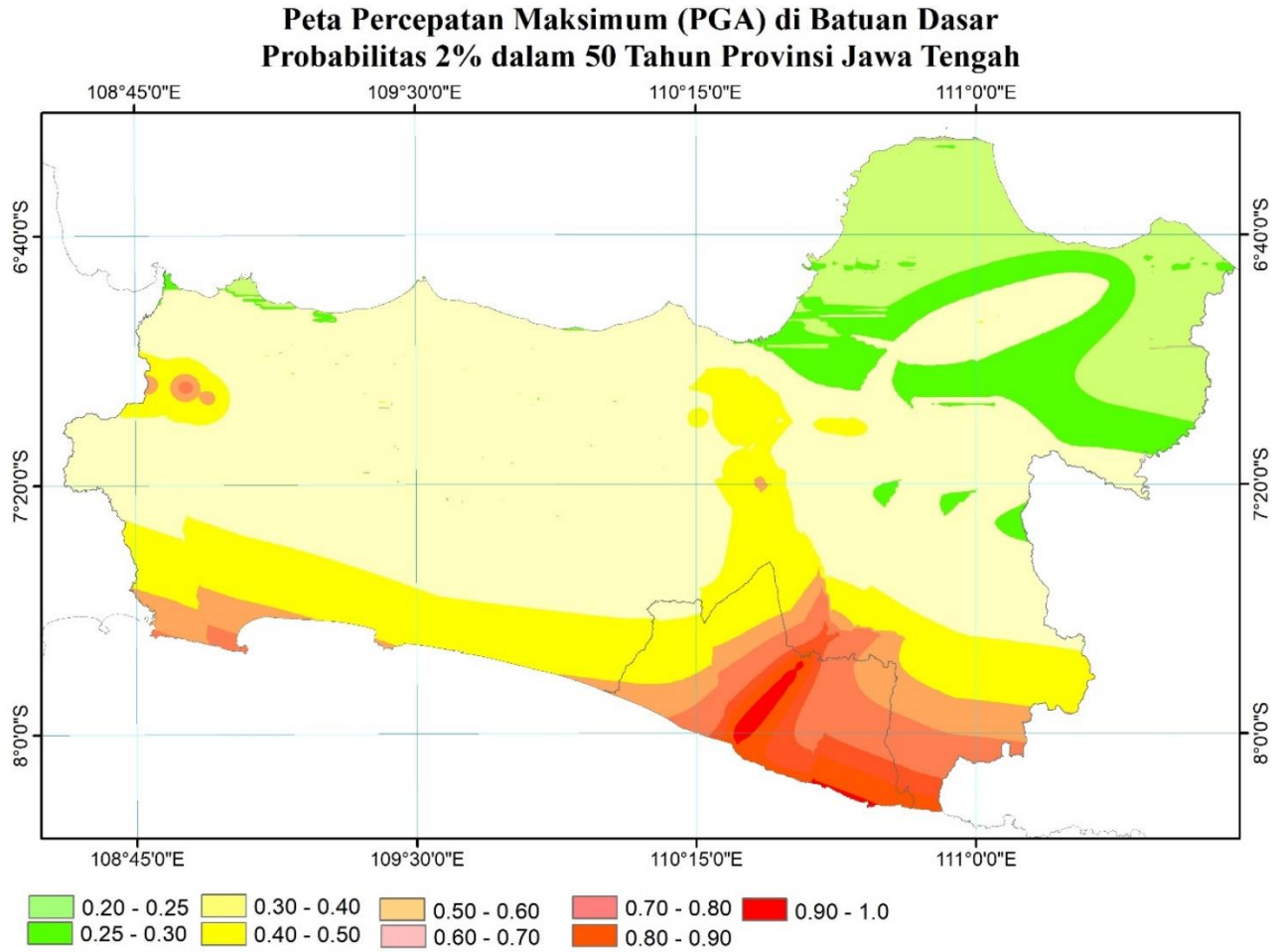
Pada **Gambar 5.21-5.22** menunjukkan hasil analisis *hazard* gempa berupa peta respon spektra pada periode 1 detik di permukaan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (perioda ulang 475 tahun) dan 2% dalam 50 tahun (perioda ulang 2475 tahun). Analisis yang akan dilakukan secara probabilistik dengan bantuan *software* SR Model. Pada peta di permukaan untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 2.0g, sedangkan untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.3 g – 2.5g.



Gambar 5.11 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Batuan DasarProbabbilitas 10% dalam 50 Tahun.

Pada **Gambar 5.11** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.11 peta percepatan gempa maksimum dibatuan dasar untuk probabilitas PGA 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.6g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal).* Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai, contoh pada lokasi sesar opak semakin jauh jarak dari sesar maka percepatan maksimum di batuan dasar akan semakin mengecil.

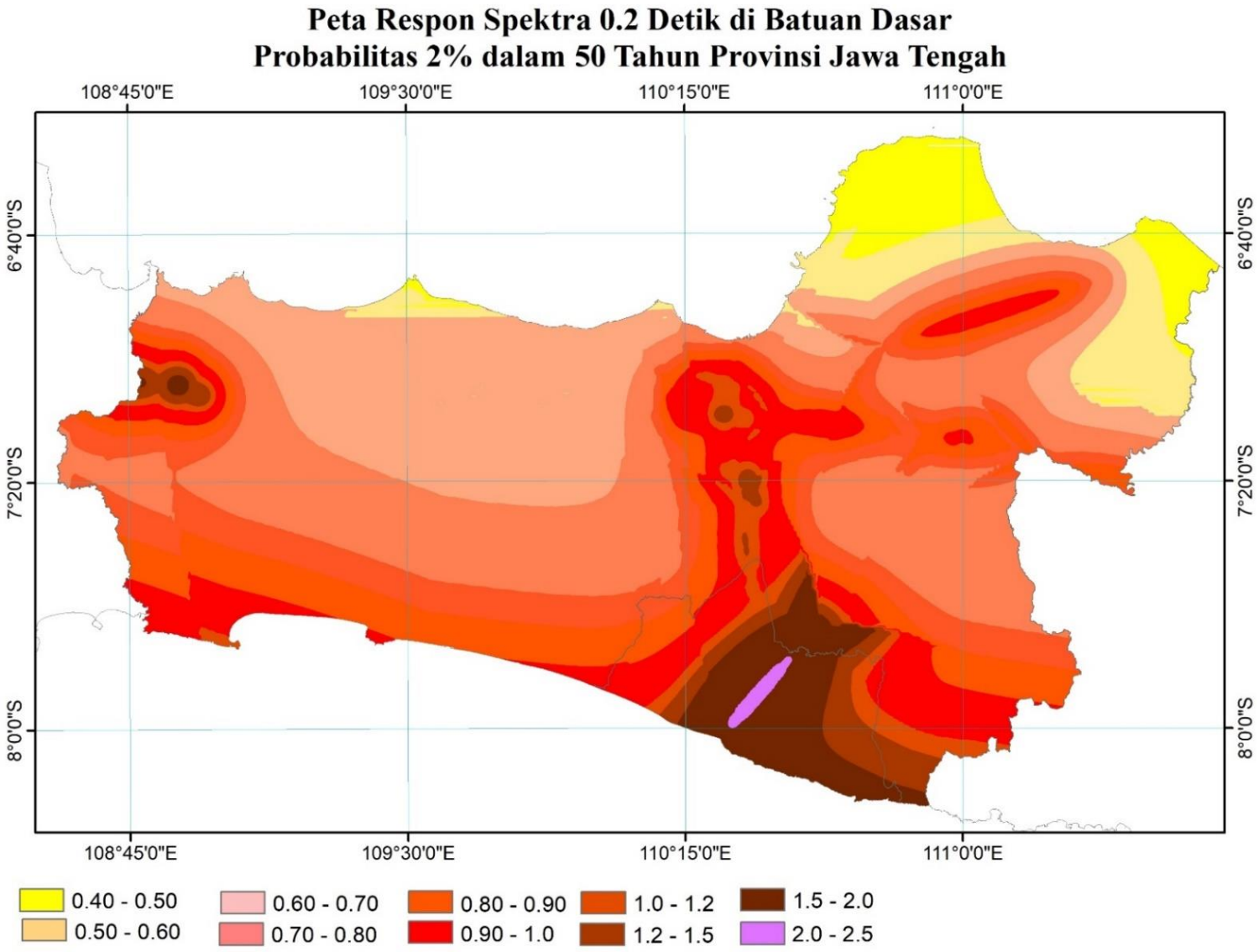
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, terlihat pada peta hasil analisis menunjukkan kenaikan rentang nilai pada area sesar yang mengalami kenaikan, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.12 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di Batuan Dasar Probabbilitas 2% dalam 50 Tahun.

Pada **Gambar 5.12** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.12 peta percepatan gempa maksimum dibatuan dasar untuk probabilitas PGA 2% dalam 50 tahun. Pada percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.2g – 1g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal).* Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai, contoh nilai percepatan tanah yang tinggi terletak di daerah yang dekat dengan sesar Opak.

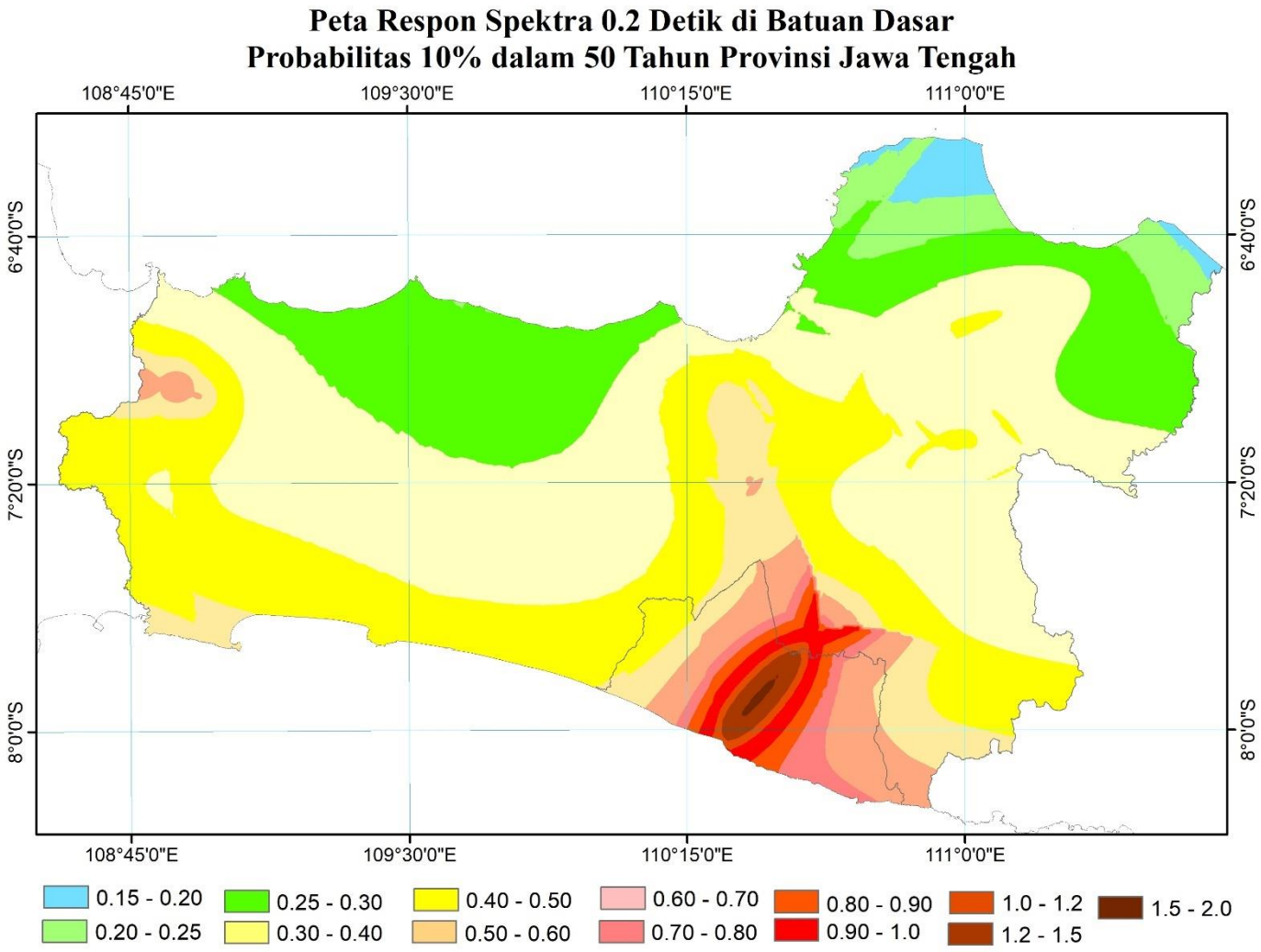
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.13 Peta Respon Spektara 0.2 Detik di Batuan Dasar probabilitas 2% dalam 50 Tahun

Pada **Gambar 5.13** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.13 peta respon spektra 0.2 detik di batuan daasar probabilitas 2% dalam 50 tahun. Pada peta respon spektra 0.2 detik di batuan daasar probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.4g – 0.25g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal)*. Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai contoh pada wilayah sesar opak, sesar semarang yang mengalami struktur zona sesar naik, dan area atas sesar opak terdapat sesar Merapi Merbabu, Ungaran 1, Ungaran 2, sesar Demak, sesar Purwodadi.

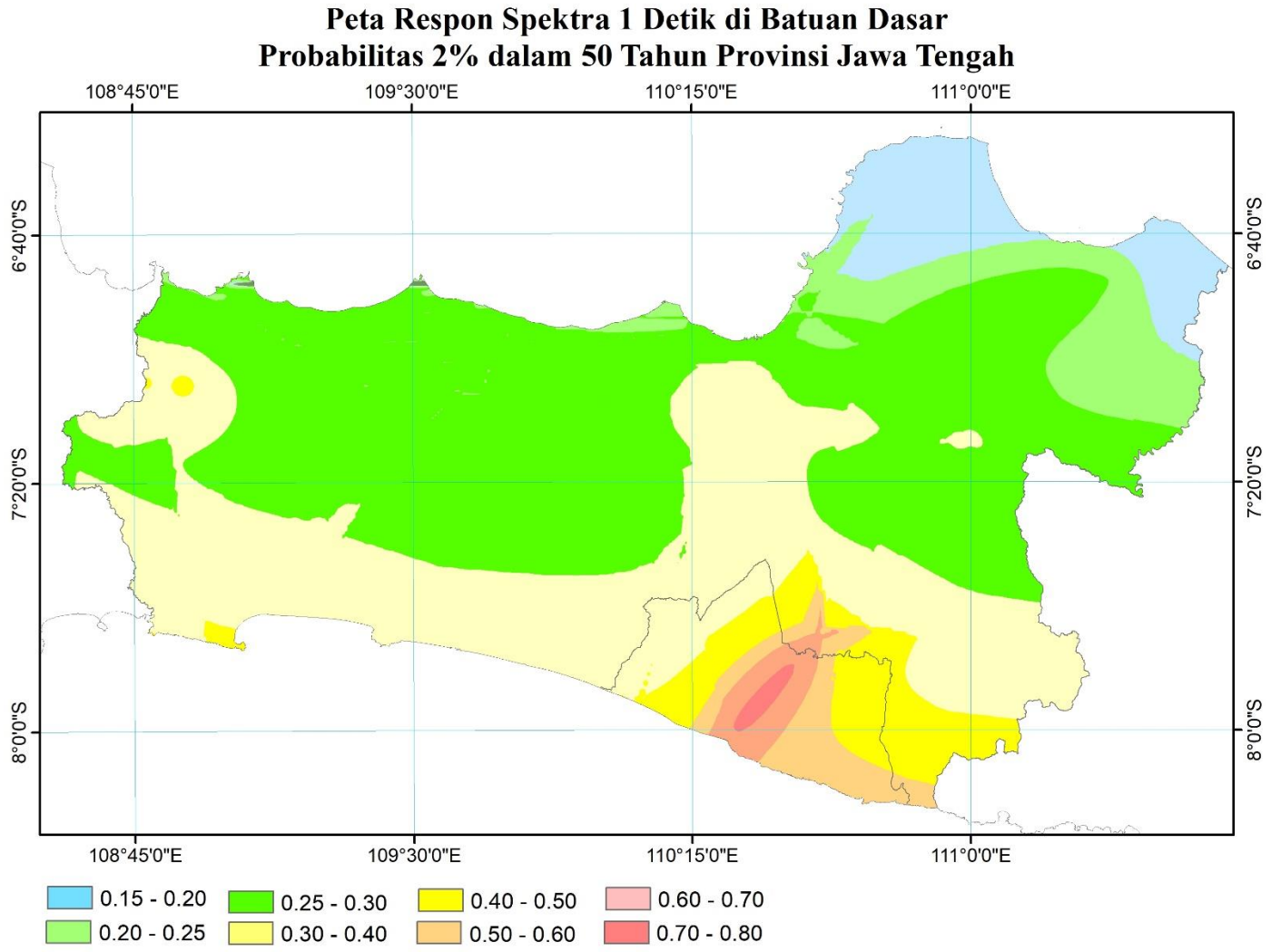
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.14 Peta Respon Spektara 0.2 Detik di Batuan Dasar probabilitas 10% dalam 50 Tahun

Pada **Gambar 5.14** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.14 peta respon spektra 0.2 detik di batuan daasar probabilitas 10% dalam 50 tahun. Pada respon spektra 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 2.0g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal)*. Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai.

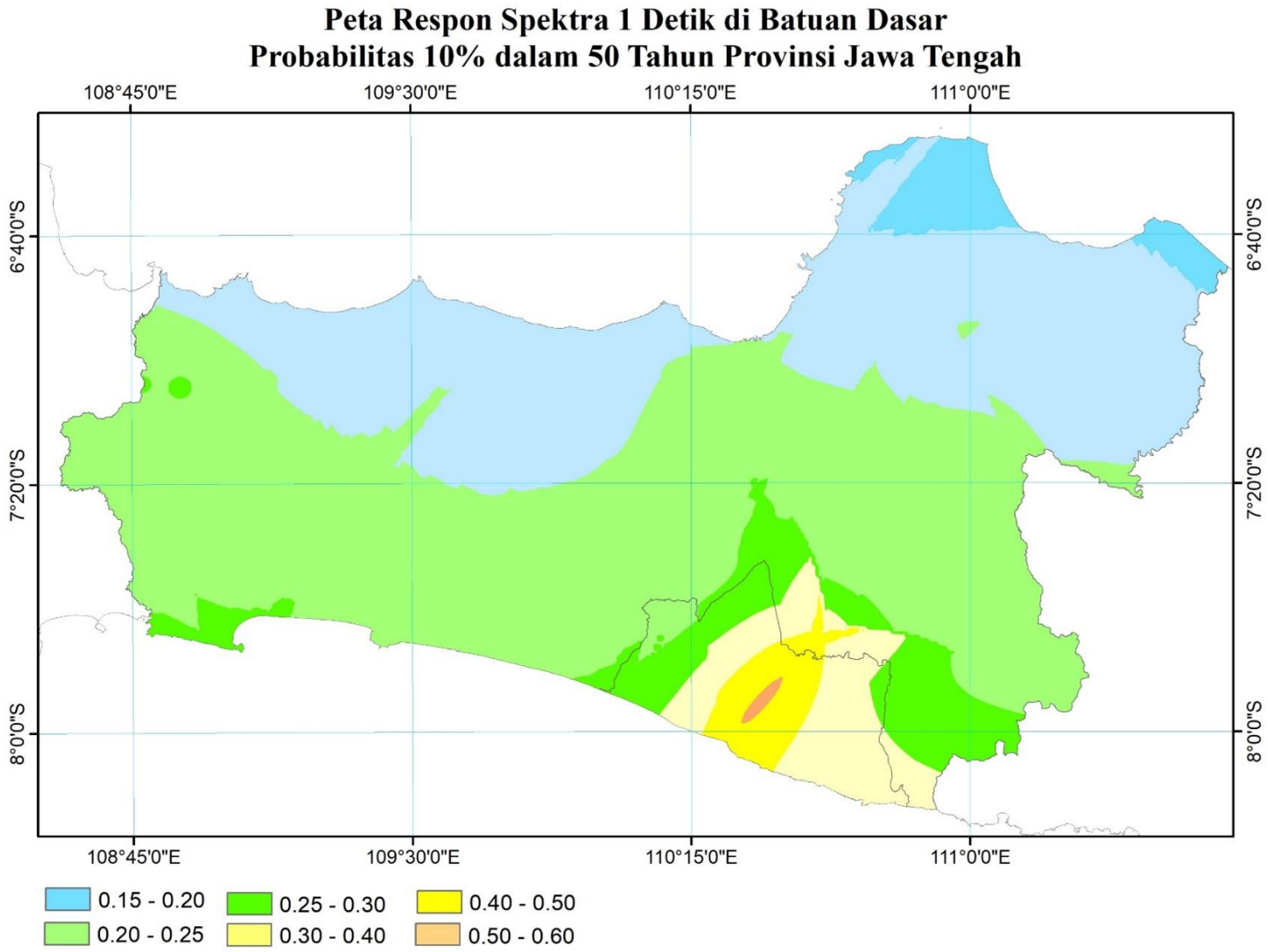
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.15 Peta Respon Spektara 1 Detik di Batuan Dasar Probabilitas 2% Dalam 50 Tahun

Pada **Gambar 5.15** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.15 peta respon spektra 1 detik di batuan daasar probabilitas 2% dalam 50 tahun. Pada peta respon spektra 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 0.8g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal)*. Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai, contoh pada lokasi sesar opak semakin jauh jarak dari sesar maka percepatan maksimum di batuan dasar akan semakin mengecil.

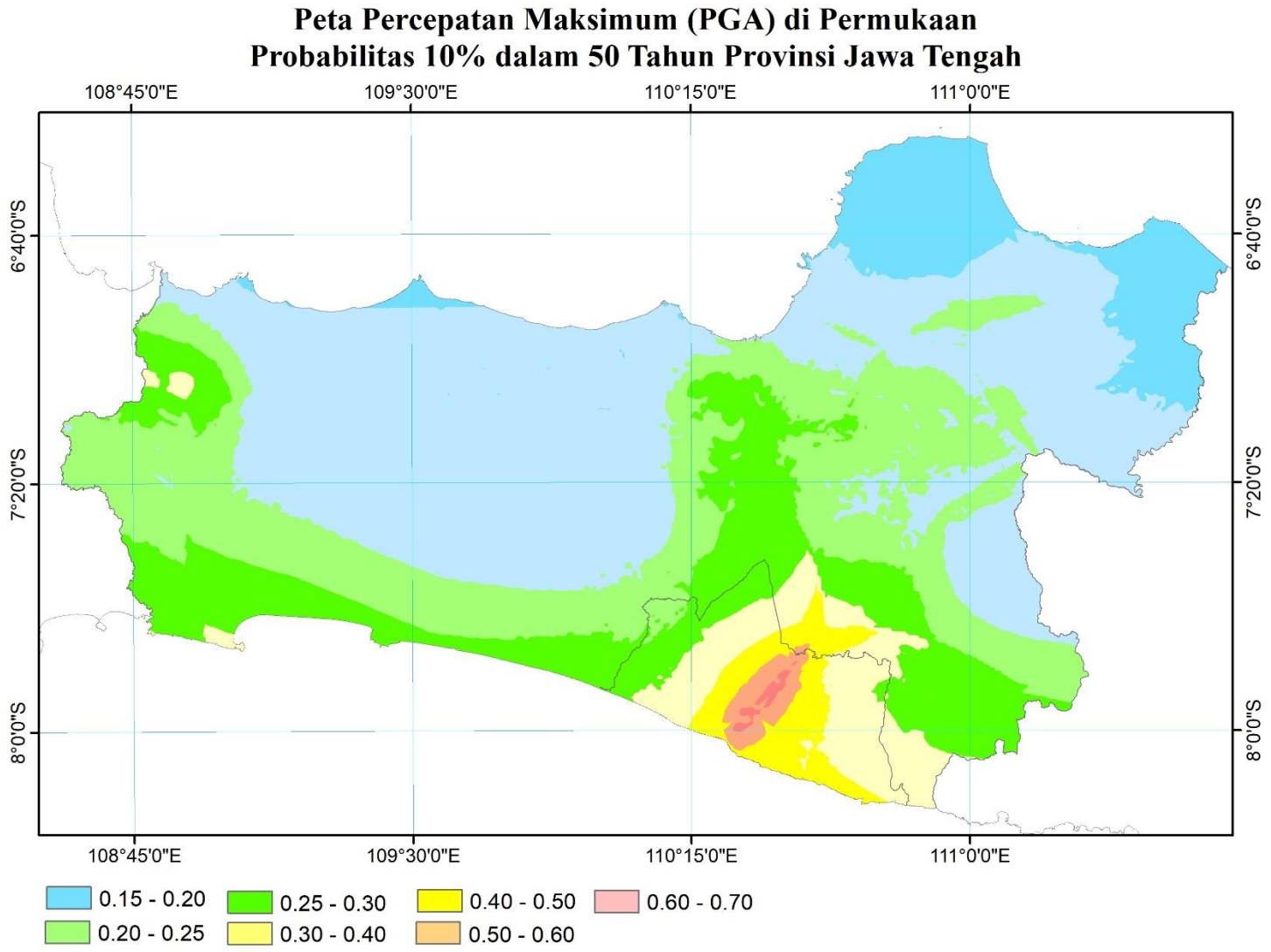
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.16 Peta Respon Spektara 1 Detik di Batuan Dasar Probabilitas 10% dalam 50 Tahun

Pada **Gambar 5.16** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.16 peta respon spektra dibatuan dasar untuk T 1 detik 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 0.6g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal)*. Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai.

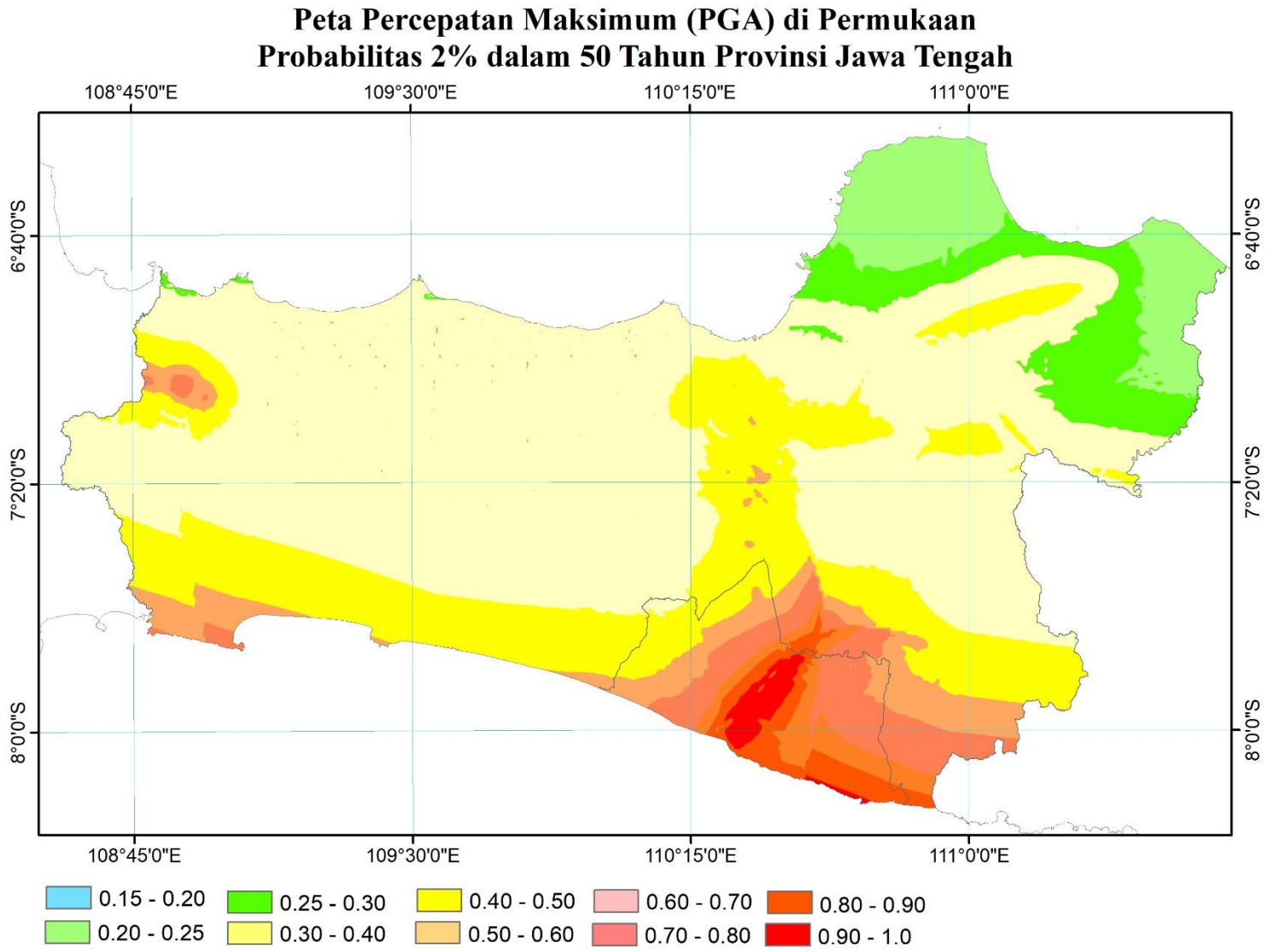
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.17 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di permukaan Probabilitas 10% dalam 50 Tahun.

Pada **Gambar 5.17** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.17 peta percepatan gempa maksimum di permukaan untuk probabilitas PGA 10% dalam 50 tahun. Pada percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 0.7g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal).* Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai, contoh pada lokasi sesar opak semakin jauh jarak dari sesar maka percepatan maksimum di batuan dasar akan semakin mengecil.

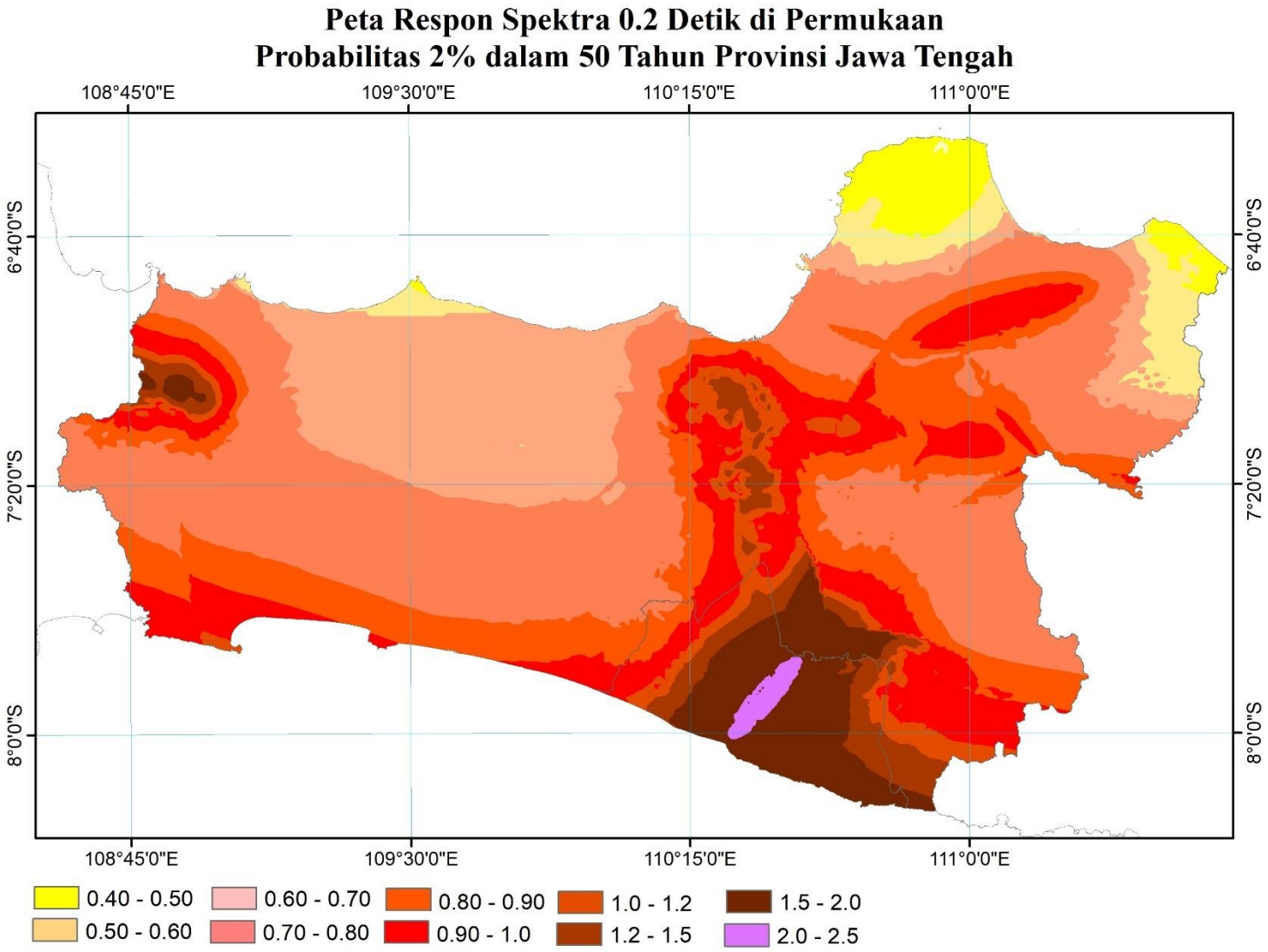
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.18 Peta Percepatan Maksimum (PGA) di permukaan Probabilitas 2% dalam 50 Tahun.

Pada **Gambar 5.18** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.18 peta percepatan gempa maksimum dibatuan dasar untuk probabilitas PGA 2% dalam 50 tahun. Pada percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 1.0g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal).* Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai, contoh pada lokasi sesar opak semakin jauh jarak dari sesar maka percepatan maksimum di batuan dasar akan semakin mengecil.

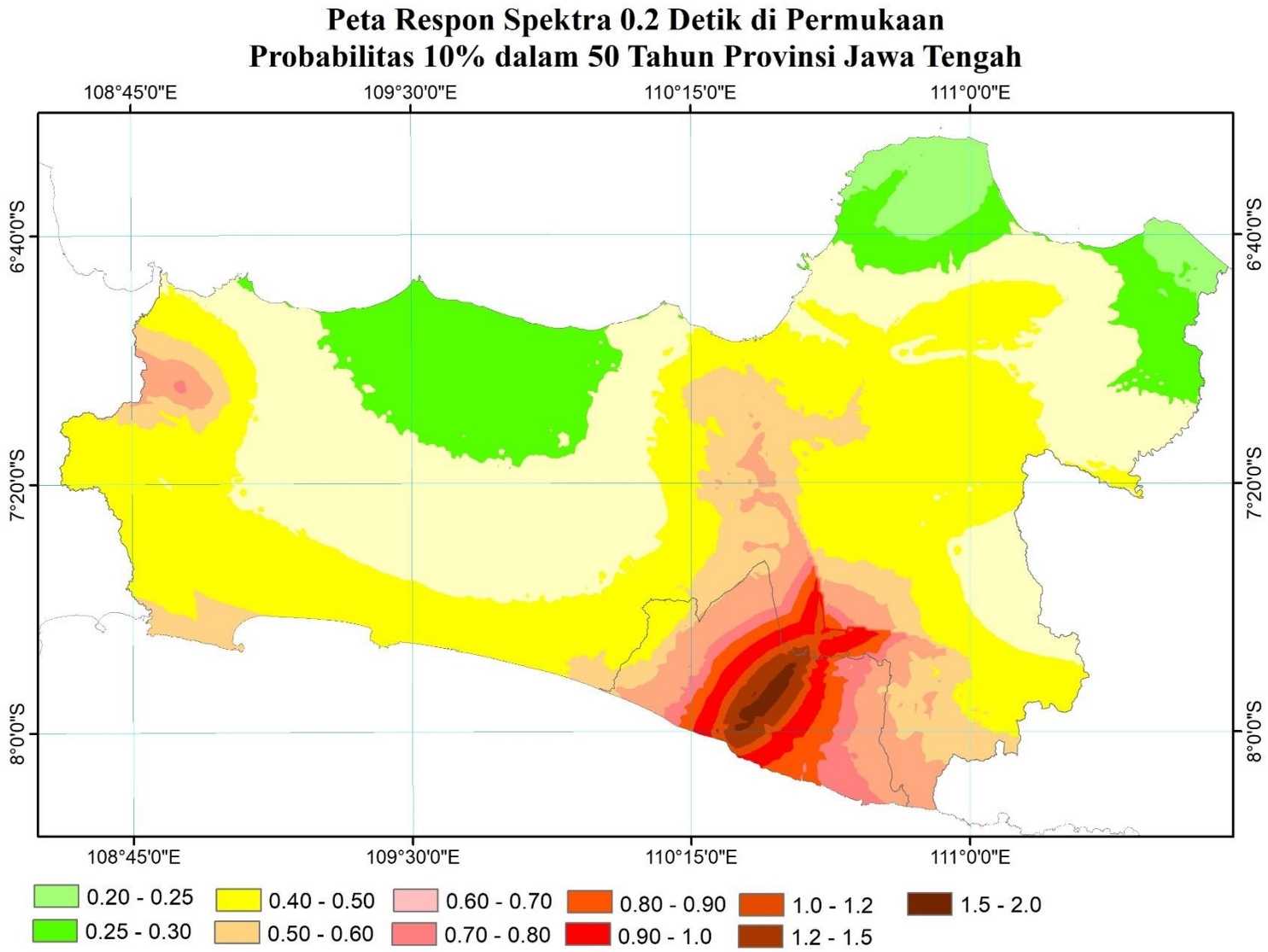
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.19 Peta Respon Spektara 0.2 Detik di Permukaan Probabilitas 2% dalam 50 Tahun

Pada **Gambar 5.19** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.19 peta respon spektra 0.2 detik di permukaan probabilitas 2% dalam 50 tahun. Pada peta respon spektra 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.4g – 2.5g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal)*. Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai, contoh pada wilayah sesar opak, sesar semarang yang mengalami struktur zona sesar naik, dan area atas sesar opak terdapat sesar Merapi Merbabu, Ungaran 1, Ungaran 2, sesar Demak, sesar Purwodadi.

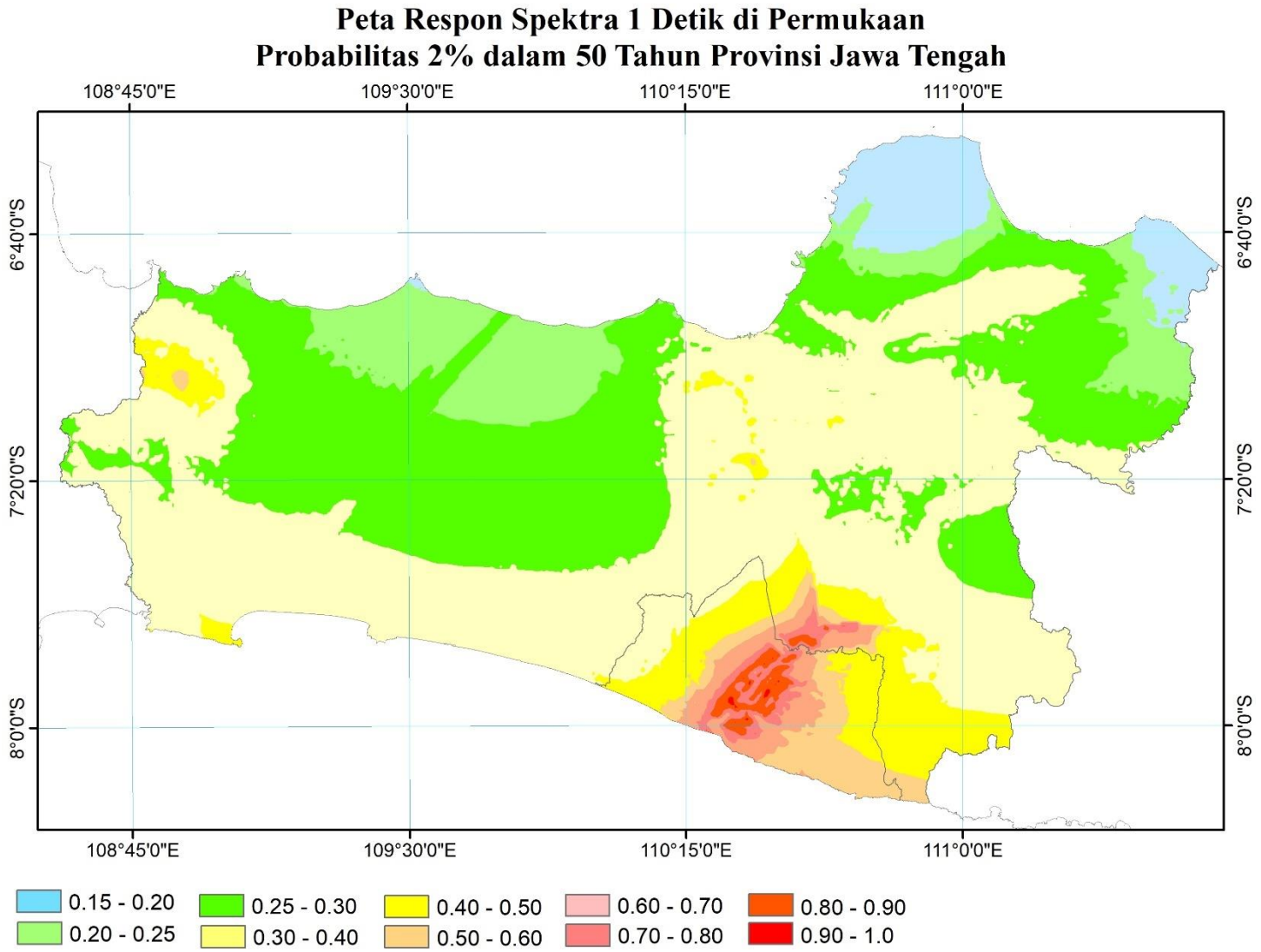
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.20 Peta Respon Spektara 0.2 Detik di Permukaan Probabilitas 10% dalam 50 Tahun

Pada **Gambar 5.20** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.20 peta respon spektra 0.2 detik di permukaan probabilitas 10% dalam 50 tahun . Pada peta respon spektra 0.2 detik di permukaan untuk probabilitas 10% dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.2g – 2.0g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal)*. Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai. nilai respon spektra di permukaan pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai, contoh pada lokasi sesar opak semakin jauh jarak dari sesar maka percepatan maksimum di batuan dasar akan semakin mengecil.

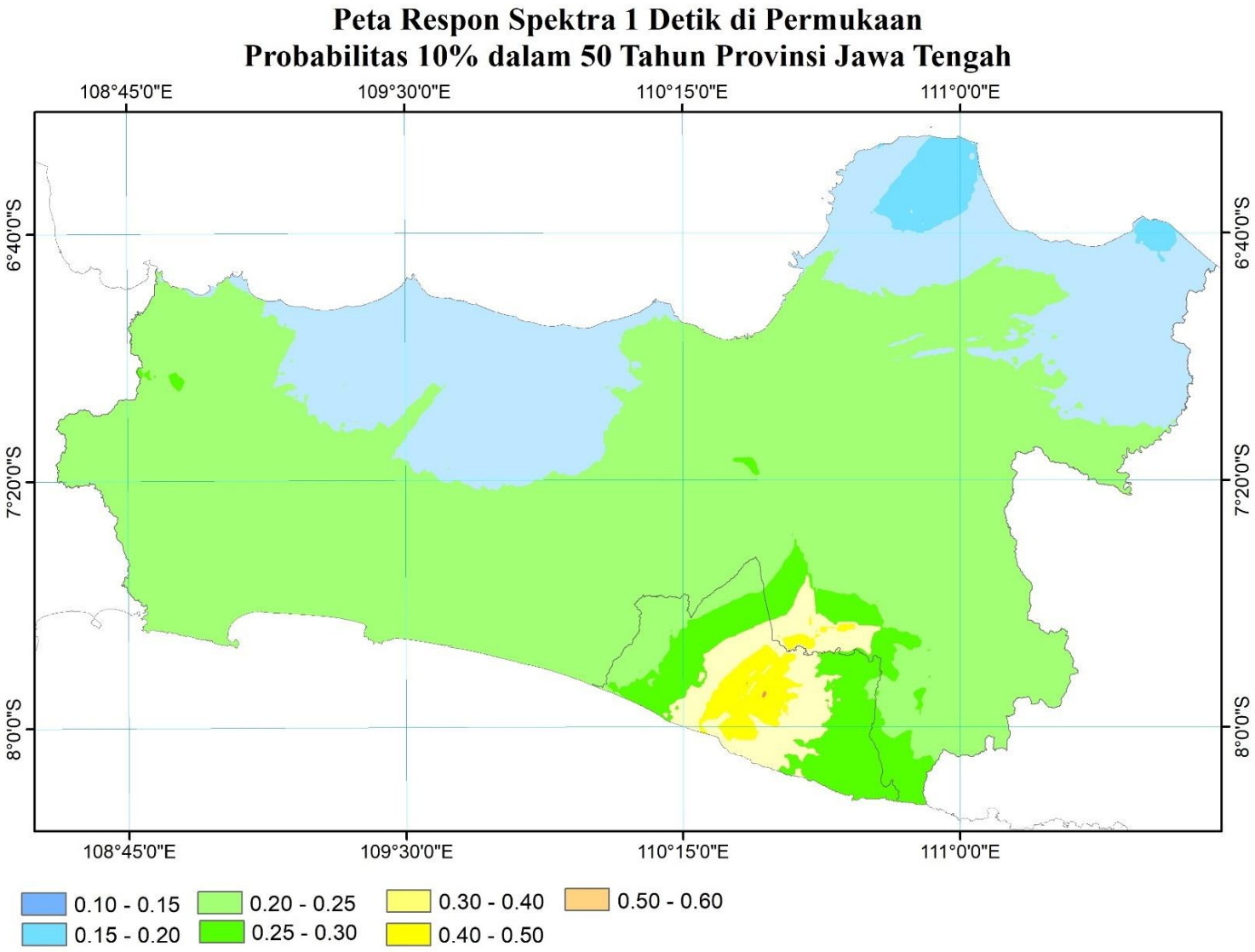
Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.21 Peta Respon Spektara 1 Detik di Permukaan Probabilitas 2% dalam 50 Tahun

Pada **Gambar 5.21** menunjukkan peta hasil analisis *hazard* gempa dengan menggunakan jumlah sesar dan segmentasi gempa subduksi ter-*update* dari Pusgen 2017, pada gambar 5.21 peta respon spektra 1 detik di permukaan probabilitas 2% dalam 50 tahun. Pada peta respon spektra 1 detik di permukaan probabilitas 2% dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.15g – 1.0g, rentang nilai *hazard* yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi *(Megathrust* dan *Benioff)* dan sesar *(Swallow Crustal).* Pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola rentang nilai yang mengecil maka wilayah tersebut semakin jauh jarak suatu wilayah dari sumber gempa maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar semakin mengecil. Pada peta *hazard* wilayah yang terdapat keberadaan sesar, nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada daerah tersebut juga akan mengalami kenaikan pola rentang nilai.

Menurut Marliyani (2016) menunjukkan bahwa deformasi yang aktif pada pulau Jawa terakomondasi oleh struktur-struktur kecil dengan penyebaran yang cukup luas, di Jawa bagian tengah dan timur terdapat stuktur zona sesar naik dan dominan adalah zona sesar kendeng dan semarang, pada bagian timur jawa terdapat sistem patahan adalah sesar pasuruan, probolinggo dan baluran. Menurut Hidayat dkk (2011) meneliti sesar semarang yang terdapat di sepanjang kali garang dengan ditandai banyaknya lokasi gerakan tanah di sepanjang kali garang dan terekam di batuan kuarter menunjjukan sesar Semarang aktif dan berpotensi gempa. Pada bagian barat terdapat sesar cimandiri, baribis ditemukan banyak sekali sesar naik dan sesar mendatar dengan arah yang diketahui yaitu barat-timur dan timur laut-barat daya masih belum banyak diketahui juga informasi lebih rinci dari sesar-sesar ini. Pada bagian selatan terdapat sesar opak dan ditemukan sesar baru sesar merapi merbabu, sesar opak mekanisme pergerakan terekam menunjukkan pergerakan sinistral/kekiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik batur agung yang tidak aktif (Pusgen 2017).



Gambar 5.22 Peta Respon Spektara 1 Detik di Permukaan Probabilitas 10% dalam 50 Tahun

Hasil analisis yang dilakukan di batuan dasar dan permukaan pada periode percepatan gempa maksimum (PGA), T 0.2, T 1 dalam 50 Tahun. Hasil yang di dapat pada periode PGA di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.6g, sedangkan probabilitas 2% menunjukkan rentang nilai antara 0.2 g – 1g. Pada peta respon spektra pada periode 0.2 detik di batuan dasar probabilitas 10% rentang nilai antara 0.15g-2.0 g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.3-2.5. Pada peta respon spektra pada periode 1 detik di batuan dasar probabilitas 10% rentang nilai antara 0.1g-0.6g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.15-0.8.

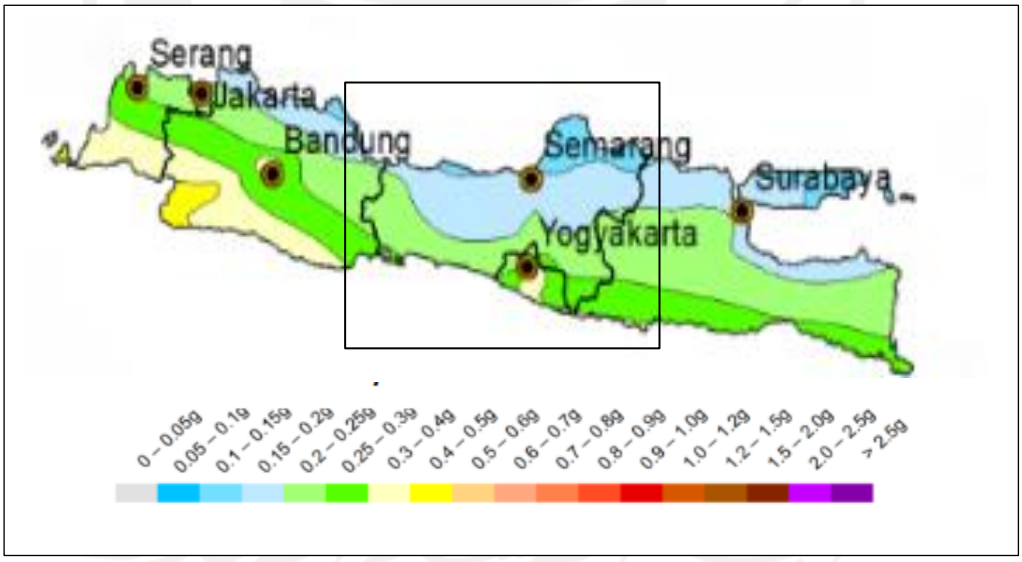
Pada periode PGA di permukaan untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.7g, sedangkan probabilitas 2% menunjukkan rentang nilai antara 0.2 g – 0.15g. Pada peta respon spektra pada periode 0.2 detik di permukaan probabilitas 10% rentang nilai antara 0.2g-2.0 g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.3-2.5. Pada peta respon spektra pada periode 1 detik di permukaan probabilitas 10% rentang nilai antara 0.1g-0.6g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.15-1.0.

Hazard kegempaan di wilayah Jawa Tengah, disamping dipengaruhi oleh keberadaan zona subduksi juga banyak dipengaruhi oleh keberadaan zona *shallow crustal* (sesar). Nilai *hazard* gempa yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi dan sesar, pada peta *hazard* gempa yang di sajikan memperlihatkan pola semakin jauh jarak suatu lokasi dari sumber gempa, maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar akan semakin kecil, sebaliknya apabila pada wilayah yang terdapat keberadaan sesar, maka nilai percepatan maksimum di batuan dasar pada wilayah tersebut juga akan mengalami kenaikan. Berdasarkan data dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 terdapat penambahan sesar di wilayah Provinsi Jawa Tengah yaitu sesar Brebes, Tegal, Pekalongan, Weleri, Semarang, Rawapening, Demak, Purwodadi, Aji Barang, Cepu dan Merapi Merbabu. Pada Jawa bagian tengah dan timur, struktur yang paling dominan terdapat sesar naik pada zona kendeng dan semarang, seangkan di bagian timur jawa diwakili oleh sistem patahan turun yaitu pada sesar pasuruan, Probolinggo dan Baluran.

5.7.1 Perbandingan dengan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017

Perbandingan dilakukan sesuai dengan sejumlah peta yang disajikan oleh peta sumber dan bahaya gempa indonesia 2017 adalah peta percepatan gempa maksimum di batuan dasar probabilitas 10%, 2% dalam 50 tahun, peta percepatan spektrum respon 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar probabilitas 2% dalam 50 tahun.

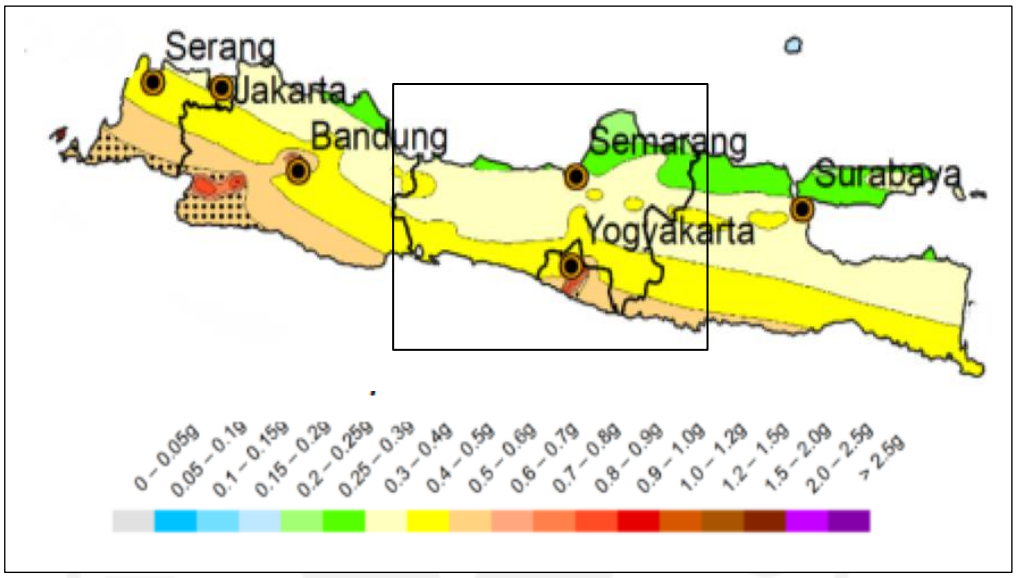
Pada **Gambar 5.23-5.26** merupakan peta yang tercantum dalam peta sumber dn bahaya gempa Indonesia 2017 adalah peta percepatan gempa maksimum (PGA) probabilitas 2% dan 10% dalam 50 tahun, peta percepatan spektrum respon 0.2 detik dan 1 detik probabilias 2% dalam 50 tahun. Pada **Gambar 5.23** adalah peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2017 yang menunjukkan peta percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 10% dalam 50 tahun pada wilayah Provinsi Jawa Tengah menunjukkan rentang nilai antara 0.05g – 0.4g, sedangkan nilai percepatan puncak di batuan dasar hasil penelitian ini relatif lebih tinggi menunjukan rentang nilai antara 0.1 g – 0.6 g.



Gambar 5.23 Peta PGA (percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun dalam Pusgen 2017).

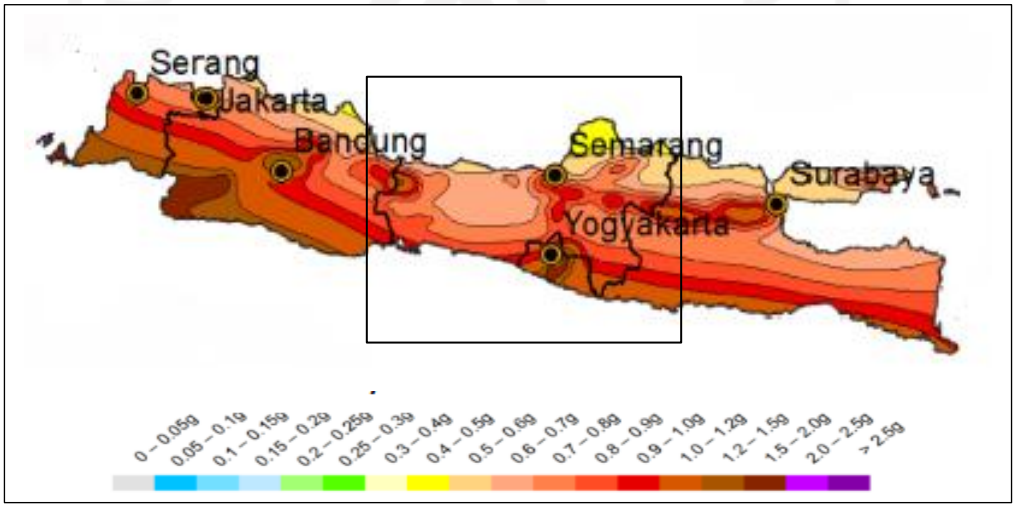
Pada **Gambar 5.24** adalah peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2017 yang menunjukkan peta percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun pada wilayah Provinsi Jawa Tengah menunjukkan

rentang nilai antara 0.2g – 0.9g, sedangkan nilai percepatan puncak di batuan dasar hasil penelitian ini relatif lebih tinggi menunjukan rentang nilai antara 0.2g – 1.0g.



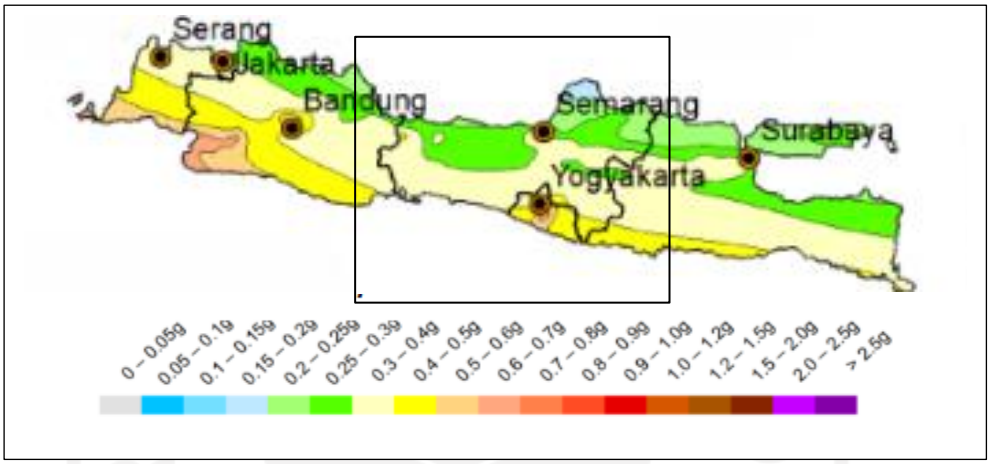
Gambar 5.24 Peta PGA (percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun dalam Pusgen 2017).

Pada **Gambar 5.25** merupakan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2017 yang menunjukkan peta percepatan spektrum respon 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun pada wilayah Provinsi Jawa Tengah menunjukkan rentang nilai antara 0.4g – 2.0g, sedangkan nilai hasil penelitian ini relatif hampir sama menunjukan rentang nilai antara 0.4g – 2.5g.



Gambar 5.25 Peta Percepatan Spektrum Respon 0.2 detik di batuan dasar probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun dalam Pusgen 2017.

Pada **Gambar 5.26** merupakan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2017 yang menunjukkan peta percepatan spektrum respon 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas 10% dalam 50 tahun pada wilayah Provinsi Jawa Tengah menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.7g, sedangkan nilai hasil penelitian ini relatif lebih tinggi menunjukan rentang nilai antara 0.15g – 0.8g.



Gambar 5.26 Peta Percepatan Spektrum Respon 1 detik di batuan dasar probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun dalam Pusgen 2017.

Pada hasil analisis yang dilakukan, peta percepatan gempa maksimum (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas 10% dalam 50 tahun pada Pusgen 2017 pada wilayah Provinsi Jawa Tengah menunjukkan rentang nilai antara 0.05g – 0.4g sedangkan hasil penelitian menunjukkan rentang nilai 0.1 g- 0.6 g, pada peta percepatan gempa maksimum (PGA) probabilitas 2% dalam 50 tahun pada Pusgen 2017 memiliki rentang nilai 0.2g-0.9g sedangkan hasil penelitian menunjukkan rentang nilai 0.2g- 1g . Pada peta percepatan spektrum respon 0.2 detik di batuan dasar probabilitas 2% dalam 50 tahun pada Pusgen memiliki rentang nilai 0.4g -2.5 g, sedangkan hasil penelitian menunjukkan rentang nilai 0.4g - 2g. Pada peta percepatan spektrum respon 1 detik di batuan dasar probabilitas 2% dalam 50 tahun pada Pusgen memiliki rentang nilai 0.1g-0.7g sedangkan hasil penelitian menunjukkan rentang nilai 0.15g – 0.8g. Meningkatnya nilai percepatan di batuan dasar (PGA) dan nilai percepatan spektrum respon di batuan dasar dari hasil analisis

dengan perbandingan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 adalah nilai rate yang berbeda, pengambilan tahun data gempa yang di gunakan dalam analisis.

5.8 Peta Fa dan Fv Provinsi Jawa Tengah

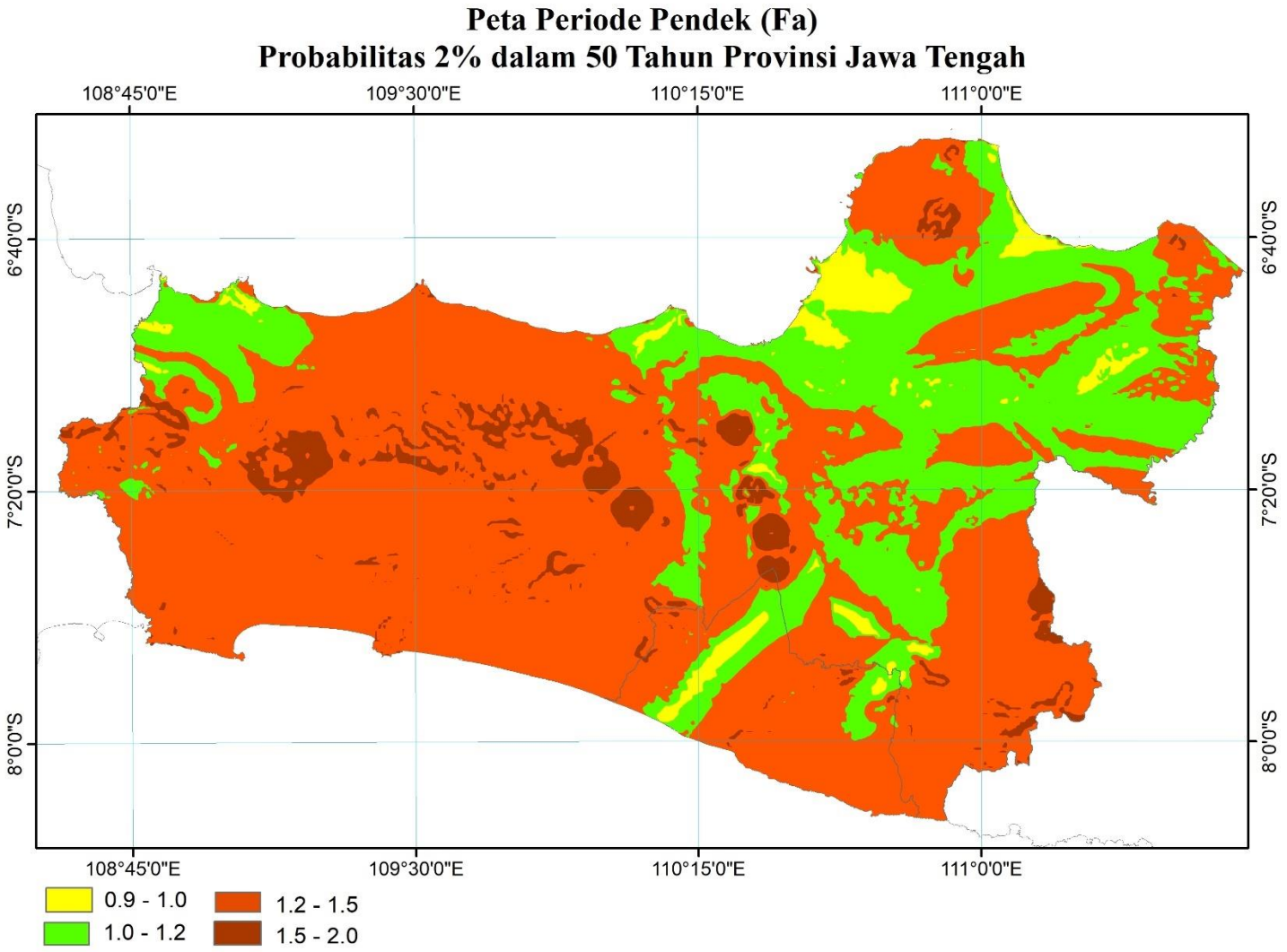
Penentuan respon spektal percepatan gempa di permukaan, diperlukan guna penentuan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek *(Fa)* dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (*Fv*) (SNI 1726-2019). Pada **Gambar 5.27-5.28** adalah peta percepatan pada getaran periode pendek *(Fa)* percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik atau periode panjang (*Fv*) Provinsi Jawa Tengah, dimana nilai Fa memiliki rentang nilai 0.9-2.0g dan nilai Fv memiliki rentang nilai yang lebih tinggi yaitu 1.2-3.0g, kelas situs yang di dapat sesuai dengan klasifikasi situs pada SNI 1726-2019 berdasarkan nilai Vs30 yang di dapat dari USGS, pada kelas situs yang tercantum pada SNI 1726-2019 dari kelas situs tanah keras (SA) - batuan lunak (SE) mengalami penambahan nilai pada setiap kelas situs pada tabel 5.3-5.4 menurut SNI 1726-2019.

Tabel 5.3 Koefisien Situs Fa, SNI 1726:2019

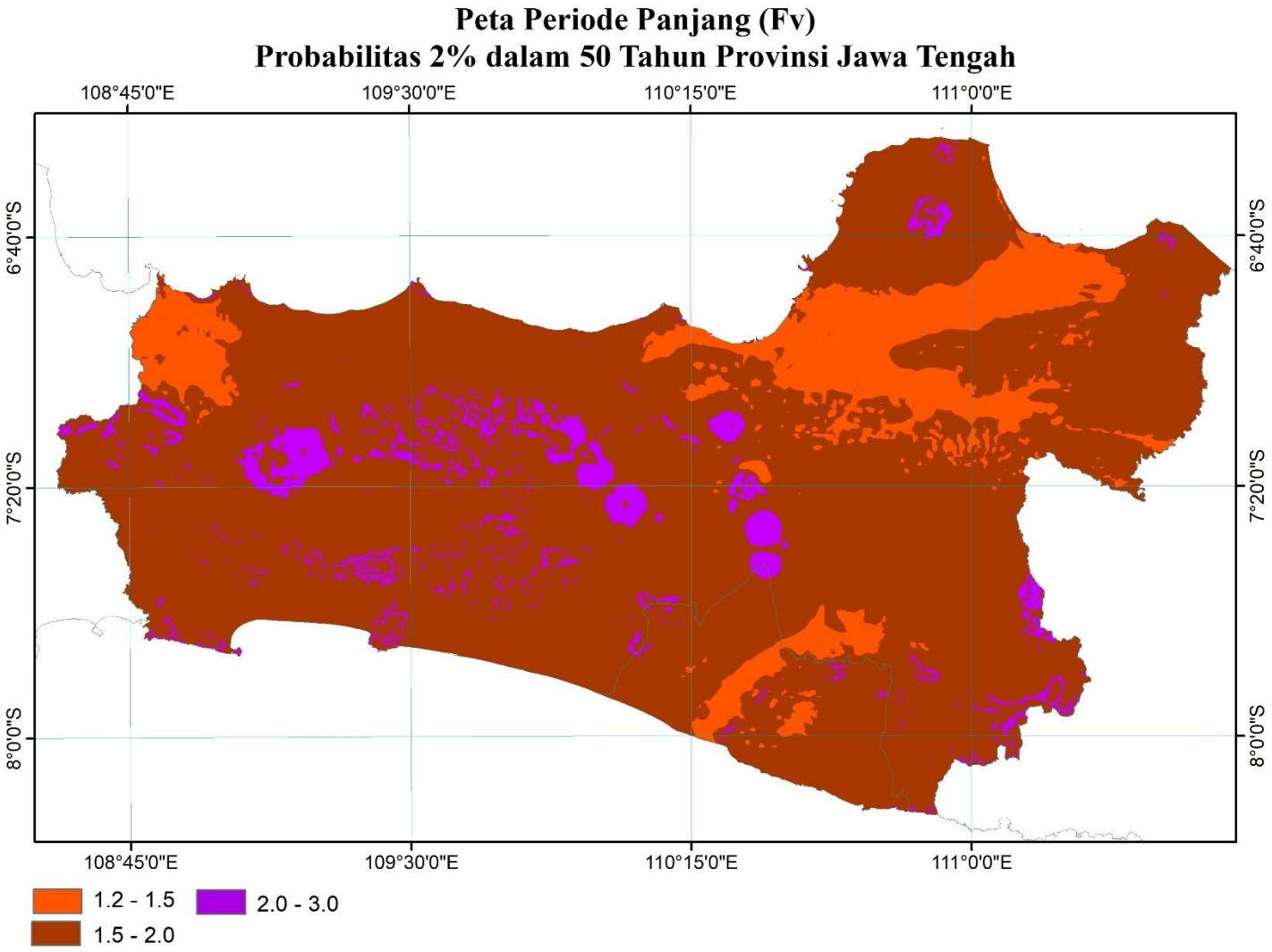
Kelas Situs	Parameter Percepatan Respon Spektral MCER pada Periode 0.2 Detik					
	Ss ≤ 0.25	Ss = 0.5	Ss = 0.75	Ss = 1.00	Ss = 1.25	Ss ≥ 1.5
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1	1
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	Ss(a)					

Tabel 5.4 Koefisien Situs Fv, SNI 1726:2019

Kelas Situs	Parameter Percepatan Respon Spektral MCER pada Periode 1 Detik					
	S1 ≤ 0.1	S1 = 0.2	S1 = 0.3	S1 = 0.4	S1 = 0.5	S1 ≥ 0.6
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
SD	2.4	2.2	2	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2
SF	Ss(a)					



Gambar 5.27 Peta Percepatan Getaran Periode Pendek (Fa)



Gambar 5.28 Peta Percepatan Getaran Periode Panjang (Fv)

5.9 Deagregasi *Hazard* Gempa

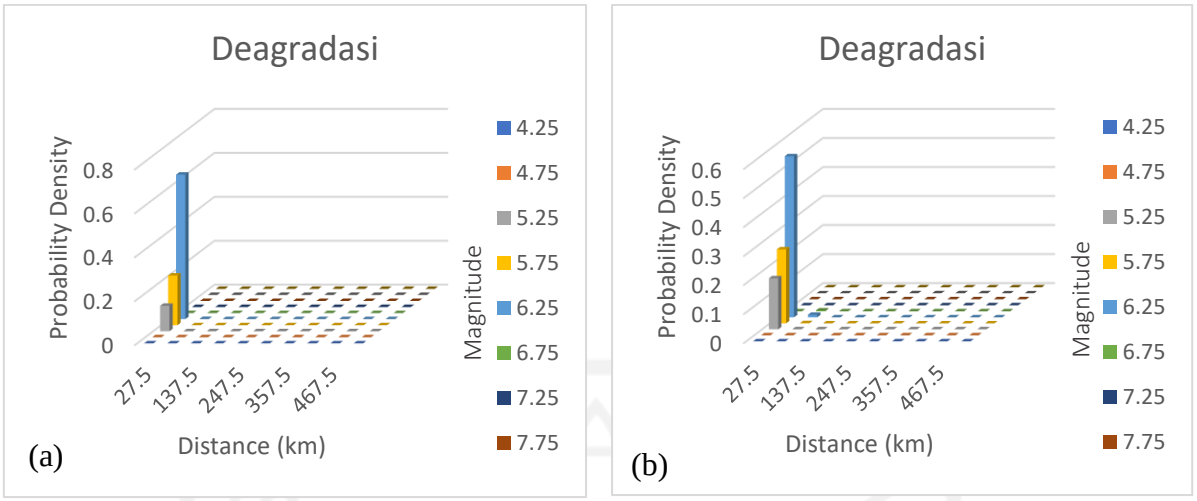
Dalam penelitian ini, perhitungan deagregasi dibatasi untuk *hazard* gempa perioda PGA, 0.2 detik dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun). Perhitungan degregasi akan memperkirakan gempa penentu dari wilayah yang akan ditinjau menghasilkan rata-rata magnitude (*mean magnitude*) dan rata-rata jarak (*mean distance*), yang akan digunakan dalam pemilihan *ground motion* sintetik dengan karakteristik yang mendekati kondisi wilayah yang diinginkan. Hasil analisis deagregasigempa menunjukkan nilai *mean magnitude* (M) dan *mean distance* (R) di wilayah yang akan ditinjau secara umum dipengaruhi oleh kontribusi terbesar dari masing-masing sumber gempa. Pada wilayah yang di tinjau apabila jauh dari sumber gempa *shallow crustal*/ sesar, akan dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa dari sumber gempa subduksi, apabila daerah yang dekat dengan sumber gempa *shallow crustal*, akan dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa yang bersumber dari *shallow crustal* tersebut. Selain memperhitungkan degregasi, penelitian ini juga bertujuan merekomendasikan *ground motion* yang sesuai untuk empat daerah penelitian yaitu Semarang, Pati, Solo dan Kebumen, koordinat sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 5.5.**

Tabel 5.5 Koordinat tiga daerah penelitian

No.	Daerah	Koordinat	
		Long	Lat
1	Solo	110.7878	-7.5758
2	Pati	111.1262	-6.8863
3	Semarang	110.2936	-7.1047

5.9.1 Deagregasi *Hazard* Gempa Daerah Semarang

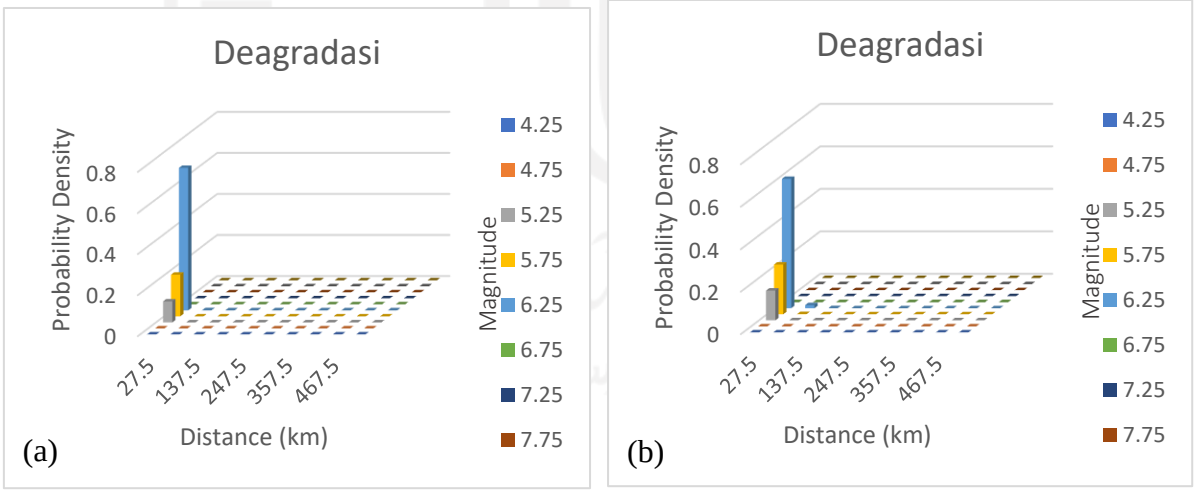
Hasil degregasi di daerah Semarang pada periode PGA, 0.2 detik dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) ditunjukkan pada **Gambar 5.28**. Sumber gempa yang dominan adalah gempa yang bersumber dari zona *shallow crustal* Semarang. Untuk periode T=0.2 didapatkan nilai *mean magnitude* (M) adalah 6.04 dan *mean distance* (R) 13.8 km, sedangkan untuk periode PGA didapatkan nilai *mean magnitude* (M) adalah 5.9 dan *mean distance* (R) 18.2 km.



Gambar 5.28 Hasil deagregasi *hazard* gempa daerah Semarang, (a)pada periode 0.2detik dan (b) pada periode PGA.

5.9.2 Deagregasi *Hazard* Gempa Daerah Pati

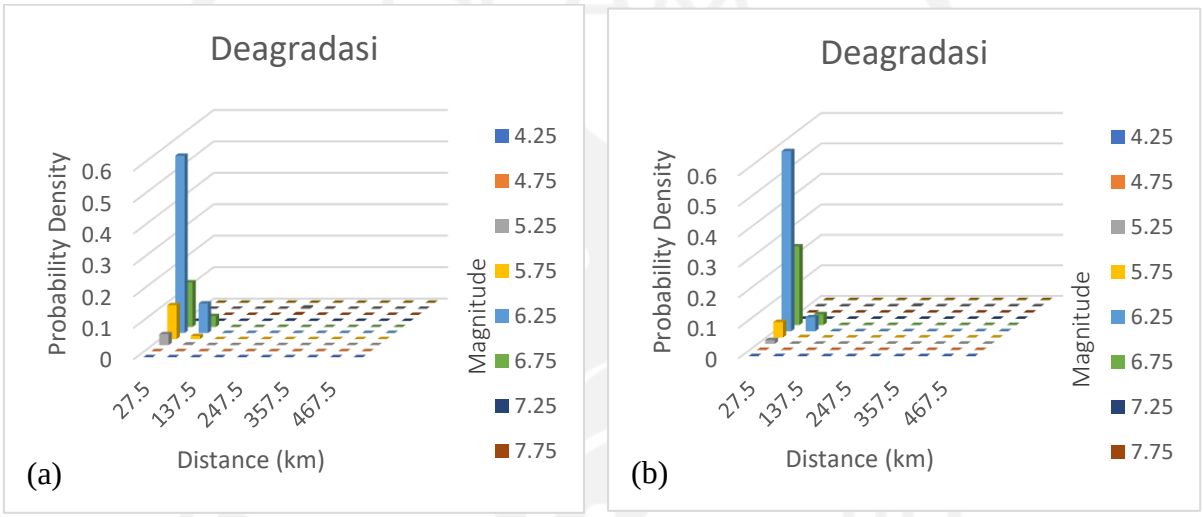
Hasil degregasi di daerah Pati pada periode PGA, 0.2 detik dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) ditunjukkan pada **Gambar 5.29**. Sumber gempa yang dominan adalah gempa yang bersumber dari zona *shallow crustal* Pati. Untuk periode T 0.2 didapatkan nilai *mean magnitude* (M) adalah 6.0 dan *mean distance* (R) 12.5 km, sedangkan untuk periode PGA didapatkan nilai *mean magnitude* (M) adalah 6.0 dan *mean distance* (R) 19.5 km.



Gambar 5.29 Hasil deagregasi *hazard* gempa daerah Pati (a) pada periode 0.2detik dan (b) pada periode PGA

5.9.3 Deagregasi *Hazard* Gempa Daerah Solo

Hasil degregasi di daerah Solo pada periode PGA, 0.2 detik dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) ditunjukkan pada **Gambar 5.30**. Sumber gempa yang dominan adalah gempa yang bersumber dari zona *shallow crustal* Opak. Untuk periode 0.2 didapatkan nilai *mean magnitude* (M) adalah 6.0 dan *mean distance* (R) 39.7 km, sedangkan untuk periode PGA didapatkan nilai *mean magnitude* (M) adalah 6.0 dan *mean distance* (R) 43.5 km.



Gambar 5.30 Hasil deagregasi *hazard* gempa daerah Solo (a)Pada periode 0.2detik dan (b) pada periode PGA

Tabel 5.6 Rangkuman hasil deagregasi untuk T= 0.2 detik dan T=1 detik probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun pada empat daerah penelitian.

No	Daerah	Dominan Source		T 0.2		T PGA	
		T 0.2	T 1	M	R	M	R
1	Semarang	Semarang	Semarang	6.04	13.8	5.9	18.2
2	Pati	Pati	Pati	6.01	12.5	6.0	19.5
3	Solo	Opak	Opak	6.0	39.7	6.0	43.5

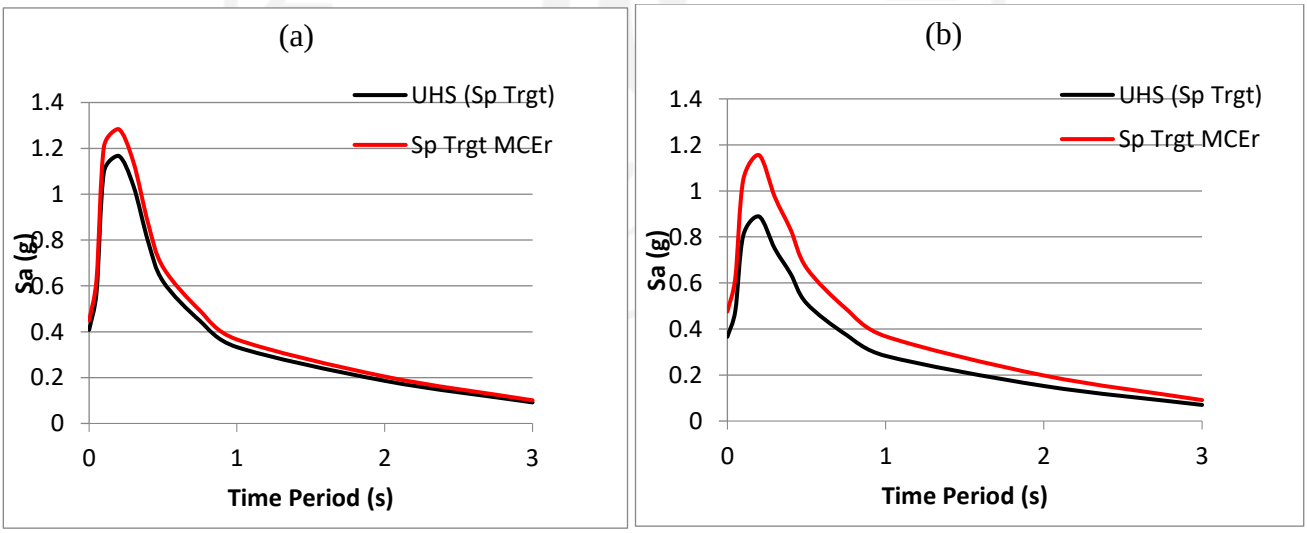
5.10 Respon Spektra Target Hasil dari Analisis UHS (*Uniform Hazard Spectrum*)

Pada penelitian ini, hasil analisis UHS (*Uniform Hazard Spectrum*) dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun). Respon spectra target adalah respon spectra yang terjadi di batuan dari seluruh mekanisme sumber gempa yang akan menjadi acuan dalam menganalisis

spectral matching untuk mendapatkan *ground motion* sintetik yang sesuai untuk suatu daerah yang berdasarkan analisis deagregasi selanjutnya ditentukan respon spektra target untuk sumber subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan sumber gempa *shallow crustal.*). Pada peta yang tersedia pada Pusgen 2017 peta-peta tersebut masih didefinisikan *probabilistic maximum concerned earthquake* (MCE). Untuk menjadikan *Risk Targeted Spectra Demand* (MCEr), menurut Widodo, (2020) terdapat perkalian antara nilai hasil analisis (MCE) dengan *factror directivity* (Df) dan *risk targeted coefficient* (Rf). *Factor directivity* untuk T = 0s dapat diambil Df = 1,untuk periode T = 0.2s nilai Df = 1.1 dan untuk periode T= 1.0s nilai Df= 1.3. Terlepas dari nilai *factor directivity*, masih perlu diketahui bahwa pada tingkat MCE tidak menjamin, maka agar risiko seragam terjadi, terdapat satu faktor lagi yang perlu diperhitungkan, yaitu koefisien target risiko (Rf), sehingga gerakan tanah akan mencapai MCEr gempa *Maksimum Credible* Target Risiko. Berdasar koefisien seismik Indonesia, koefisien target risiko telah disajikan dalam bentuk peta pada bab tiga **Gambar 3.31-3.13** yaitu peta CRS untuk periode pendek T = 0.2s dan peta CR1 untuk periode panjang T= 1.0s.

5.10.1 Respon Spektra Target Daerah Semarang

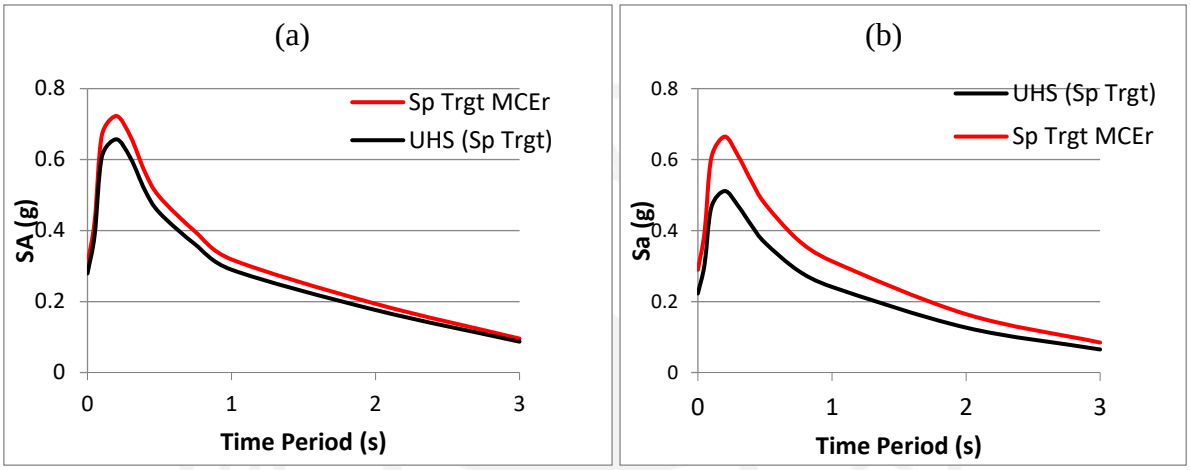
Pada **Gambar 5.31** menunjukkan grafik perbandingan hasil UHS (*Uniform Hazard Spectrum*) dan *risk targeted spectra demand* (MCEr) di batuan dasar dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) daerah Semarang.



Gambar 5.31 Hasil Respon Target daerah Semarang,
(a)Pada probabilitas 2% dan (b) Pada probabilitas 10%

5.10.2 Respon Spektra Target Daerah Solo

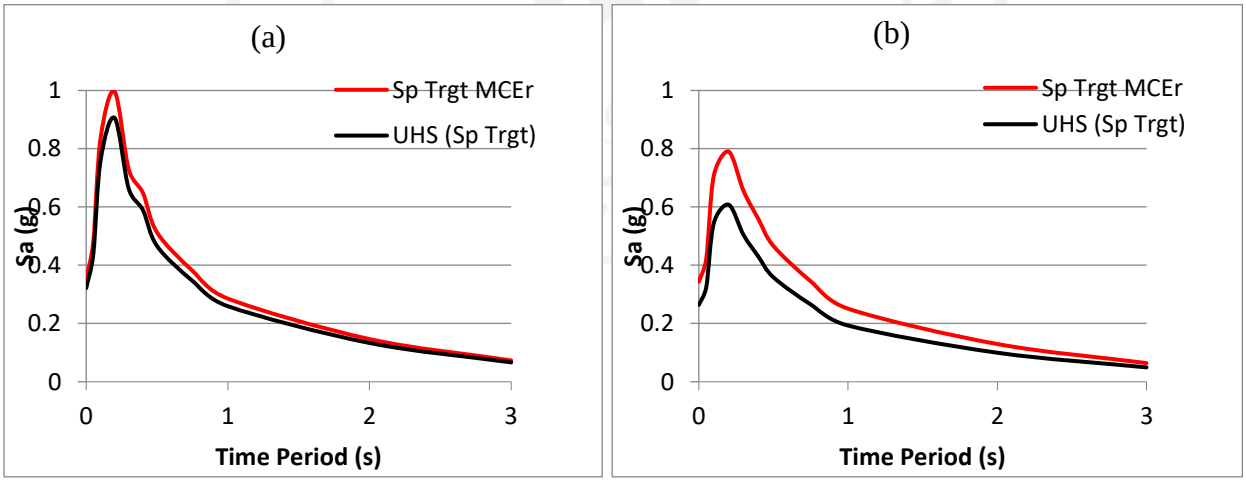
Pada **Gambar 5.32** menunjukkan grafik perbandingan hasil UHS (*Uniform Hazard Spectrum*) dan *risk targeted spectra demand* (MCEr) di batuan dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) daerah Solo.



Gambar 5.32 Hasil Respon Target daerah Solo
(a) Pada Probabilitas 2% dan (b) Pada Probabilitas 10%

5.10.3 Respon Spektra Target Daerah Pati

Pada **Gambar 5.33** menunjukkan grafik perbandingan hasil UHS (*Uniform Hazard Spectrum*) dan *risk targeted spectra demand* (MCEr) di batuan dasar dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) daerah Pati.



Gambar 5.33 Hasil Respon Target daerah Pati,
(a) Pada Probabilitas 2% dan (b) Pada Probabilitas 10%

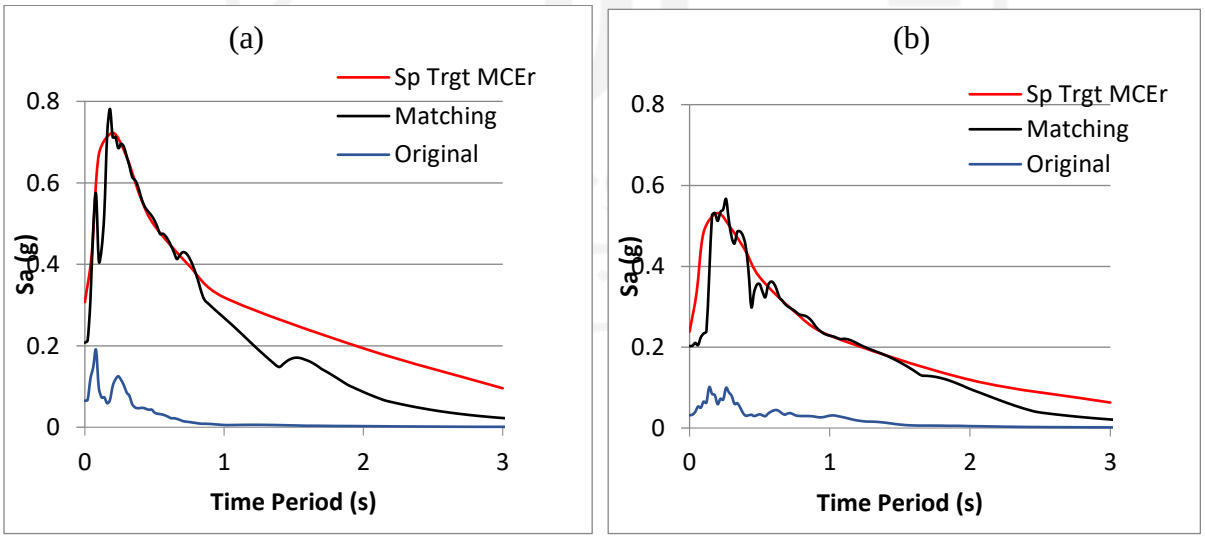
5.11 Spectral Matching

Deagregasi *hazard* gempa di daerah Semarang, Solo, Pati menghasilkan rata-rata magnitude (M) dan jarak (R) paling dominan yang mempengaruhi empat daerah tersebut, dengan hasil deagregasi tersebut selanjutnya disimulasikan *ground motion* gempa di batuan dasar pada probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) yang memiliki karakteristik mendekati hasil deagregasi untuk masing-masing daerah tersebut.

5.11.1 Analisis *Spectral Matching* Untuk Daerah Solo

Hasil *spectral matching* daerah Solo untuk mekanisme sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal* pada probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) ditunjukkan pada **Gambar 5.34**. Hasil *spectral matching* telah mendekati dengan respon spektra target.

Berdasarkan hasil analisis deagregasi untuk daerah Solo pada T 0.2 data aktual gempa Coalinga-01 California, 1983 dengan magnitude 6.0 dan jarak 39.3 km direkomendasikan untuk diskalakan (analisis *spectral matching*) guna merepresentasikan sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *Swallow Crustal*, sedangkan untuk periode PGA data aktual gempa Irpania Italy-01 1983 dengan magnitude 6.0 dan jarak 43.6 km direkomendasikan untuk diskalakan guna merepresentasikan sumber gempa gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal*.

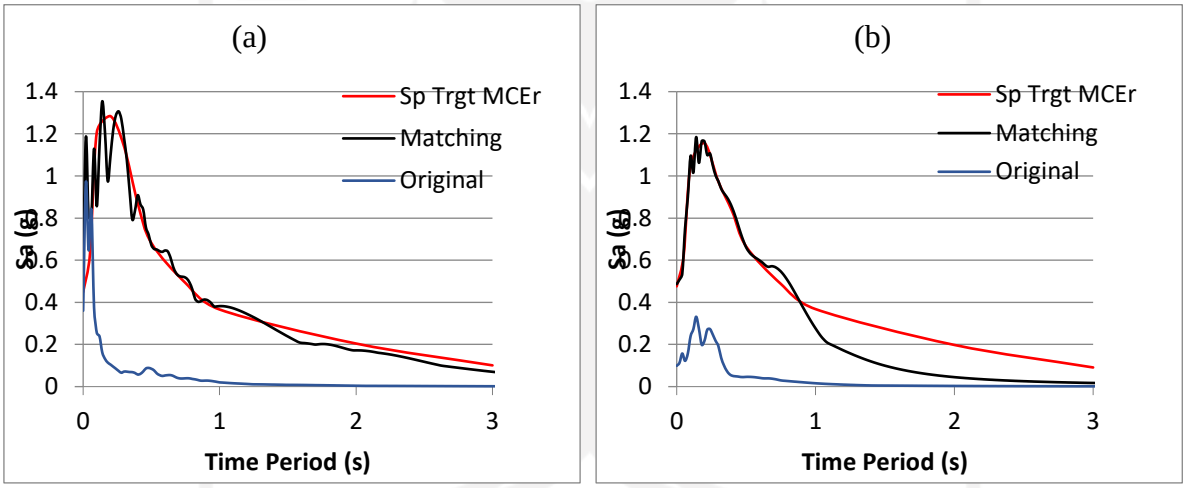


Gambar 5.34 Hasil Respon Target daerah Solo,
(a) Pada probabilitas 2% dan (b) Pada probabilitas 10%

5.11.2 Analisis *Spectral Matching* Untuk Daerah Semarang

Hasil *spectral matching* daerah Semarang untuk mekanisme sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal* pada probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) ditunjukkan pada **Gambar 5.35**. Hasil *spectral matching* telah mendekati dengan respon spektra target.

Berdasarkan hasil analisis deagregasi untuk daerah Semarang pada T 0.2 data aktual gempa Morgan Hill California,1984 dengan magnitude 6.1 dan jarak 13.0 km direkomendasikan untuk diskalakan (analisis *spectral matching*) guna merepresentasikan sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *Swallow Crustal*, sedangkan untuk periode PGA data aktual gempa Whittier-1 California, 1987 dengan magnitude 5.9 dan jarak 18.1 km direkomendasikan untuk diskalakan guna merepresentasikan sumber gempa gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal*.



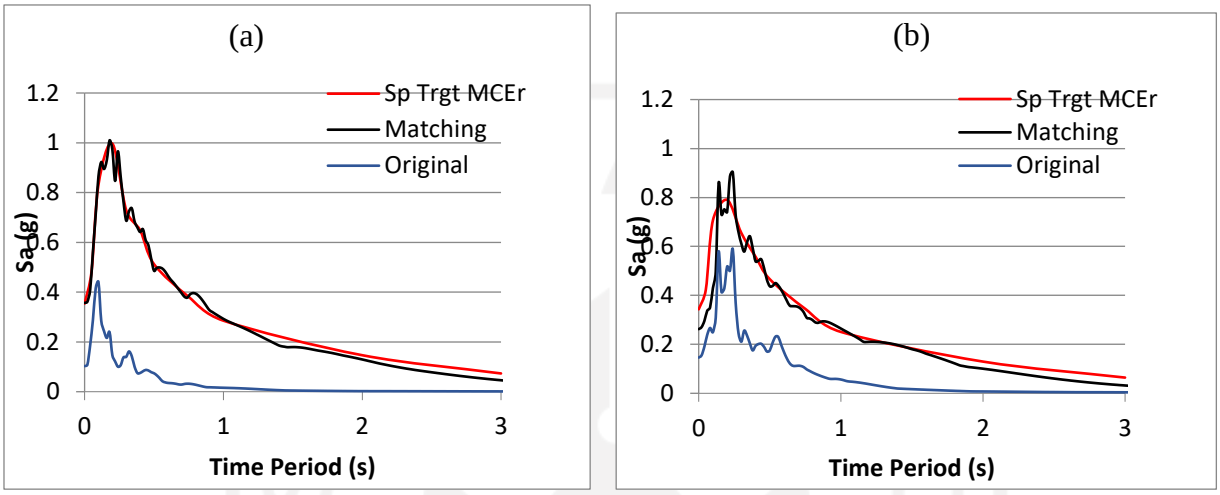
Gambar 5.35 Hasil Respon Target daerah Semarang,
(a) Pada probabilitas 2% dan (b) Pada probabilitas 10%

5.11.3 Analisis *Spectral Matching* Untuk Daerah Pati

Hasil *spectral matching* daerah Pati untuk mekanisme sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal* pada probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) ditunjukkan pada **Gambar 5.36**. Hasil *spectral matching* telah mendekati dengan respon spektra target.

Berdasarkan hasil analisis deagregasi untuk daerah P a t i pada T 0.2 data aktual gempa Parkfield-02 CA California, 2004 dengan magnitude 6 dan jarak 12.5 km direkomendasikan untuk diskalakan (analisis *spectral matching*) guna

merepresentasikan sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *Swallow Crustal*, sedangkan untuk periode PGA data aktual gempa Bassano Italy-01, 1983 dengan magnitude 6.0 dan jarak 17.1 km direkomendasikan untuk diskalakan guna merepresentasikan sumber gempa gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal*.



Gambar 5.36 Hasil Respon Target daerah Pati,
(a) Pada probabilitas 2% dan (b) Pada probabilitas 10%

Tabel 5.7 Rangkuman karakteristik data *ground motion* yang digunakan dalamanalisis *spectral matching* pada probabilitas 2%.

Lokasi	Hasil Deagregasi T 0.2		Rekaman Riwayat Waktu			
	M	R	Record	Tahun	Magnitude (Mw)	Jarak (Km)
Semarang	6.04	13.8	Morgan Hill California	1984	6.1	13.0
Solo	6.0	39.7	Coalinga-01 California	1983	6	39.3
Pati	6.0	12.5	Parkfield-02 CA California	2004	6	12.5

Tabel 5.8 Rangkuman karakteristik data *ground motion* yang digunakan dalaman alisis *spectral matching* pada Probabilitas 10%.

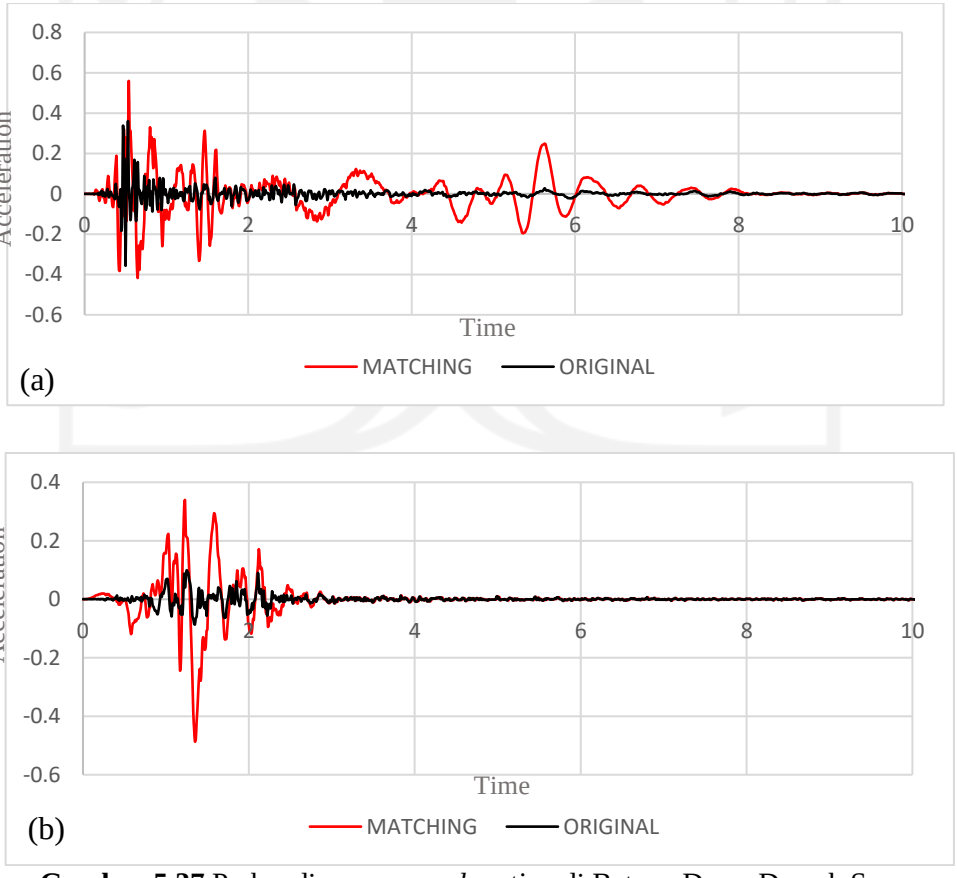
Lokasi	Hasil Deagregasi T PGA		Rekaman riwayat Waktu Percepatan Untuk T 1			
	M	R	Record	Tahun	Magnitude (Mw)	Jarak (Km)
Semarang	5.9	18.2	Whittier-1 California	1987	5.9	18.1
Solo	6.0	43.5	Irpinia Italy-01	1983	6.0	43.6
Pati	6.0	19.5	Bassno Tirreno Italy	1978	6.0	17.1

5.12 *Ground Motion* Desain di Batuan Dasar

Ground motion merupakan percepatan riwayat waktu di batuan dasar adalah bagian dari dari data gempa yang diperlukan untuk analisa perambatan gelombang geser seismik pada suatu lapisan tanah. Data yang disajikan gambaran spesifik tentang kondisi geologi dan parameter-parameter kegempaan antara lain nilai maksimum percepatan gempa di batuan dasar, durasi, dan frekuensi. Pada subbab 5.12.1-5.12.4 membahas *ground motion* desain di batuan dasar untuk ke tiga daerah penelitian dalam analisis *spectral matching* dilakukan pada probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun).

5.12.1 *Ground Motion* di Batuan Dasar Untuk Daerah Semarang

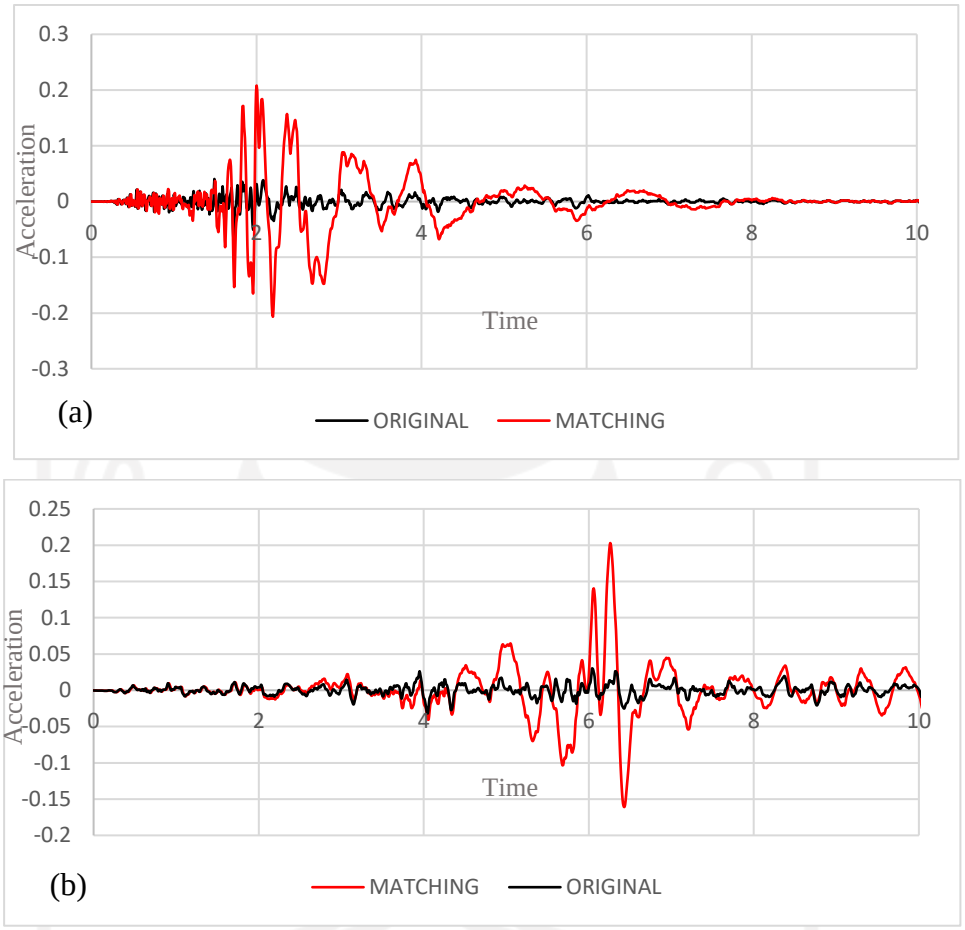
Pada **Gambar 5.37** merupakan hasil *ground motion* di batuan dasar probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) antara data original dan hasil macthing daerah Semarang dengan mekanisme gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal.*



Gambar 5.37 Perbandingan *ground motion* di Batuan Dasar Daerah Semarang pada (a) Probabilitas 2% dan (b) Probabilitas 10%

5.12.2 *Ground Motion* di Batuan Dasar Untuk Daerah Solo

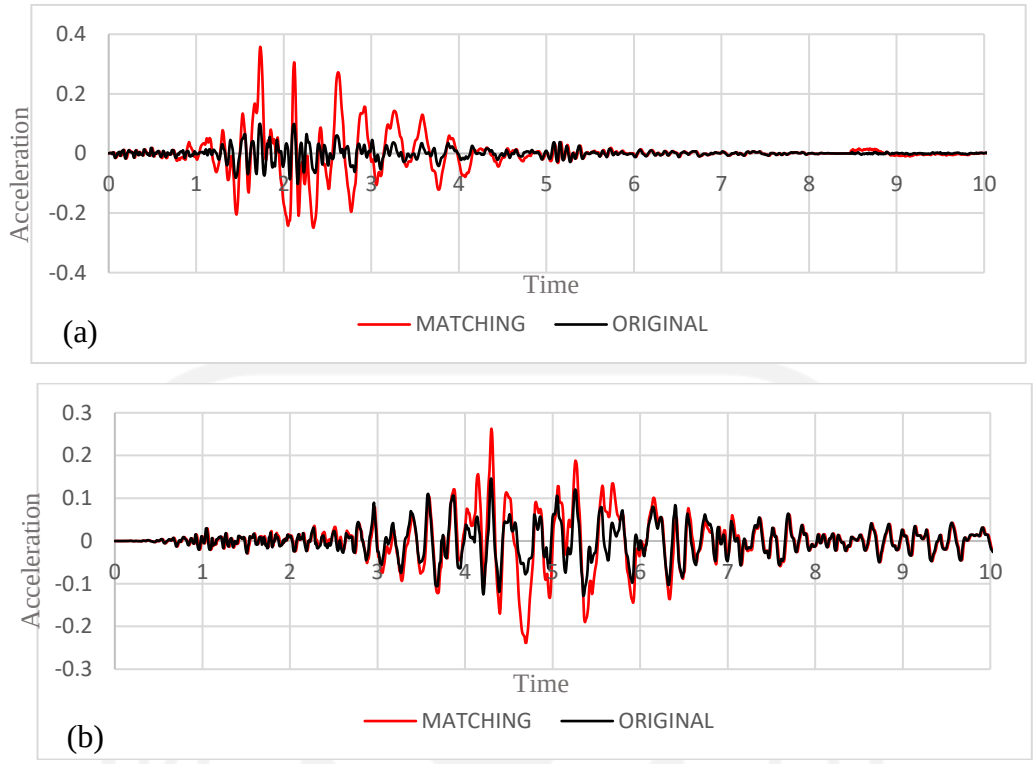
Pada **Gambar 5.38** merupakan hasil *ground motion* di batuan dasar dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) antara data original dan hasil macthing daerah Solo dengan mekanisme gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal*.



Gambar 5.38 Perbandingan *ground motion* di Batuan Dasar Daerah Solo pada (a) Probabilitas 2% dan (b) Probabilitas 10%

5.12.3 *Ground Motion* di Batuan Dasar Untuk Daerah Pati

Pada **Gambar 5.39** merupakan hasil *ground motion* di batuan dasar dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun) antara data original dan hasil macthing daerah Pati dengan mekanisme gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan *shallow crustal*.



Gambar 5.39 Perbandingan *ground motion* di Batuan Dasar Daerah Pati pada (a) Probabilitas 2% dan (b) Probabilitas 10%

5.13 Respon Dinamika Tanah

Perhitungan respon dinamika tanah dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan penentuan parameter dinamik tanah dan perambatan gelombang dari batuan dasar ke permukaan tanah, analisis ini dilakukan untuk mendapatkan *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio*, parameter dinamik tanah tersebut diperoleh dari pengujian tanah (SPT) di lapangan. Perambatan gelombang yang akan dilakukan dari batuan dasar ke permukaan tanah dilakukan secara vertikal menggunakan teori perambatan gelombang dengan bantuan *software* Deepsoil.

Tabel 5.9 Data pengujian tanah yang digunakan untuk analisis respon dinamika tanah.

No	Lokasi Bor Log	Daerah	Koordinat	
			Long	Lat
1	Rencana Bangunan Rusunawa	Semarang, Jawa Tengah	110.2936	-7.1047
2	Rencana Jembatan Tirtonadi	Solo, Jawa Tengah	110.2936	-7.5758
3	Rencana Embung Cabean	Pati, Jawa Tengah	111.1262	-6.8863

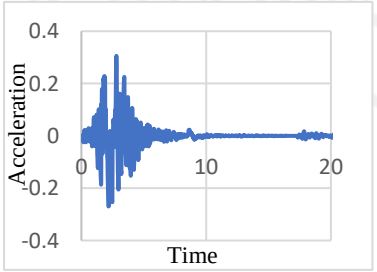
5.13.1 Parameter Dinamik Tanah Daerah Pati

Pada **tabel 5.10** menunjukkan hasil perhitungan nilai kecepatan gelombang geser (V_S) dari pengujian N-SPT di daerah Pati. Hasil korelasi nilai kecepatan gelombang geser (V_S) dan nilai respon spektral perlapis tanah terhadap kedalaman, pada **Gambar 5.40** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 2% dalam 50 tahun, di dapat nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan yaitu 0.891 g menjadi 1.029 g. **Gambar 5.41** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 10% dalam 50 tahun di dapat nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan yaitu 0.901 g menjadi 0.9916g.

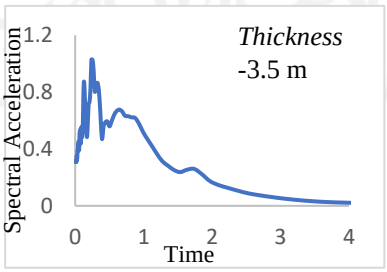
Tabel 5.10 Perhitungan nilai kecepatan gelombang geser (V_S) di daerah Pati.

No	kedalaman (m)	Soil Material	Kumulatif (m)	NSPT	Ohta, goto (1978)	Imai, Tonouchi (1982)	Vs Pakai
1	3.5	Batu pasir halus	3.5	27	334.51	380.00	357.26
2	1.5	Batu Gamping	5	31	340.63	386.95	363.79
3	1.5	Batu pasir halus	6.5	33	326.01	370.34	348.18
4	0.7	Batu pasir halus	7.2	40	326.01	370.34	348.18
5	1.8	Batu gamping	9	36	334.51	380.00	357.26
6	0.8	Lempung pasir	9.8	40	342.62	389.21	365.91
7	5.2	Batu gamping	15	36	334.51	380.00	357.26

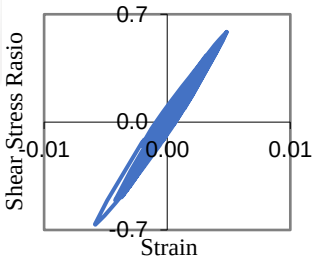
Ground Motion

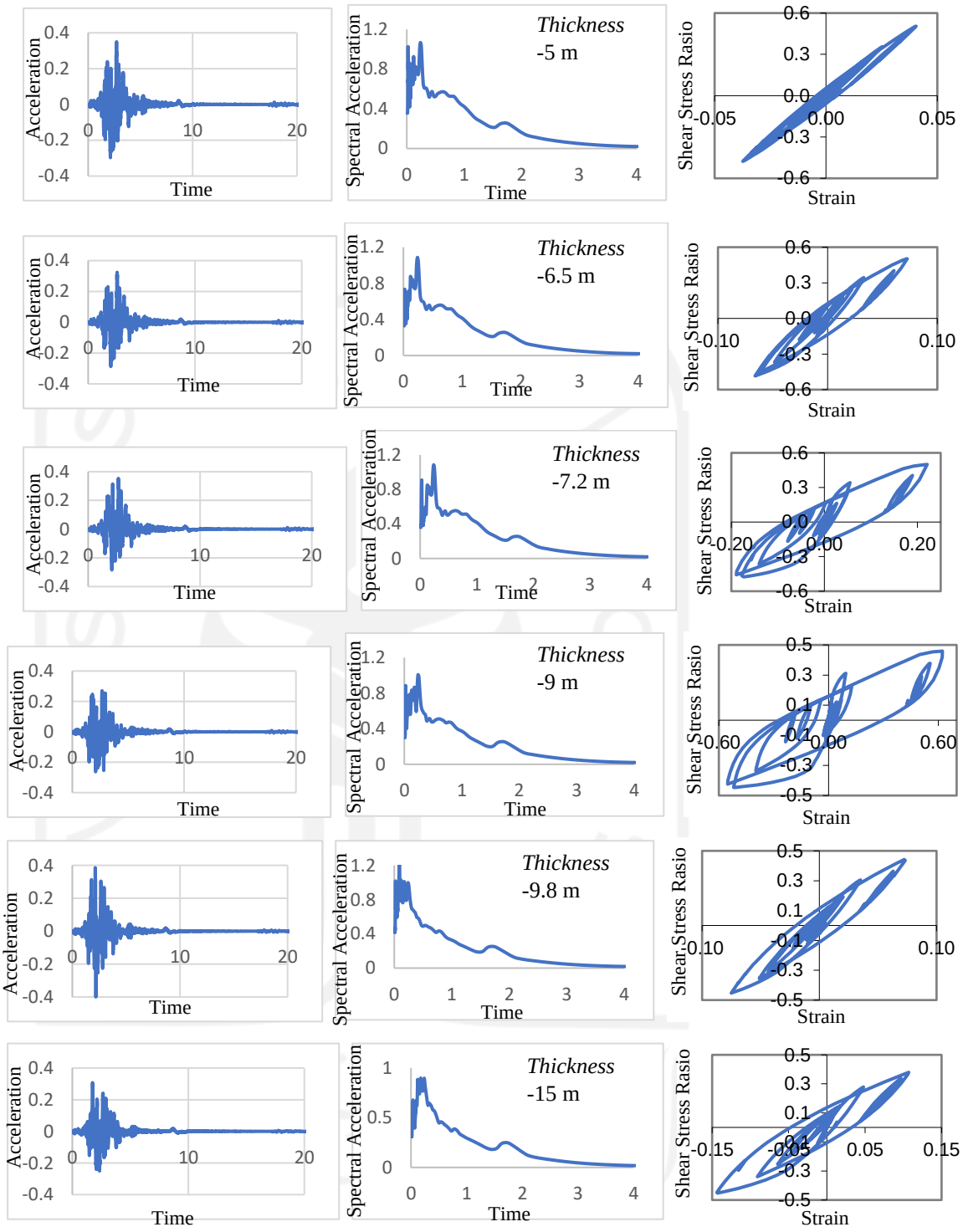


Respon Spectra



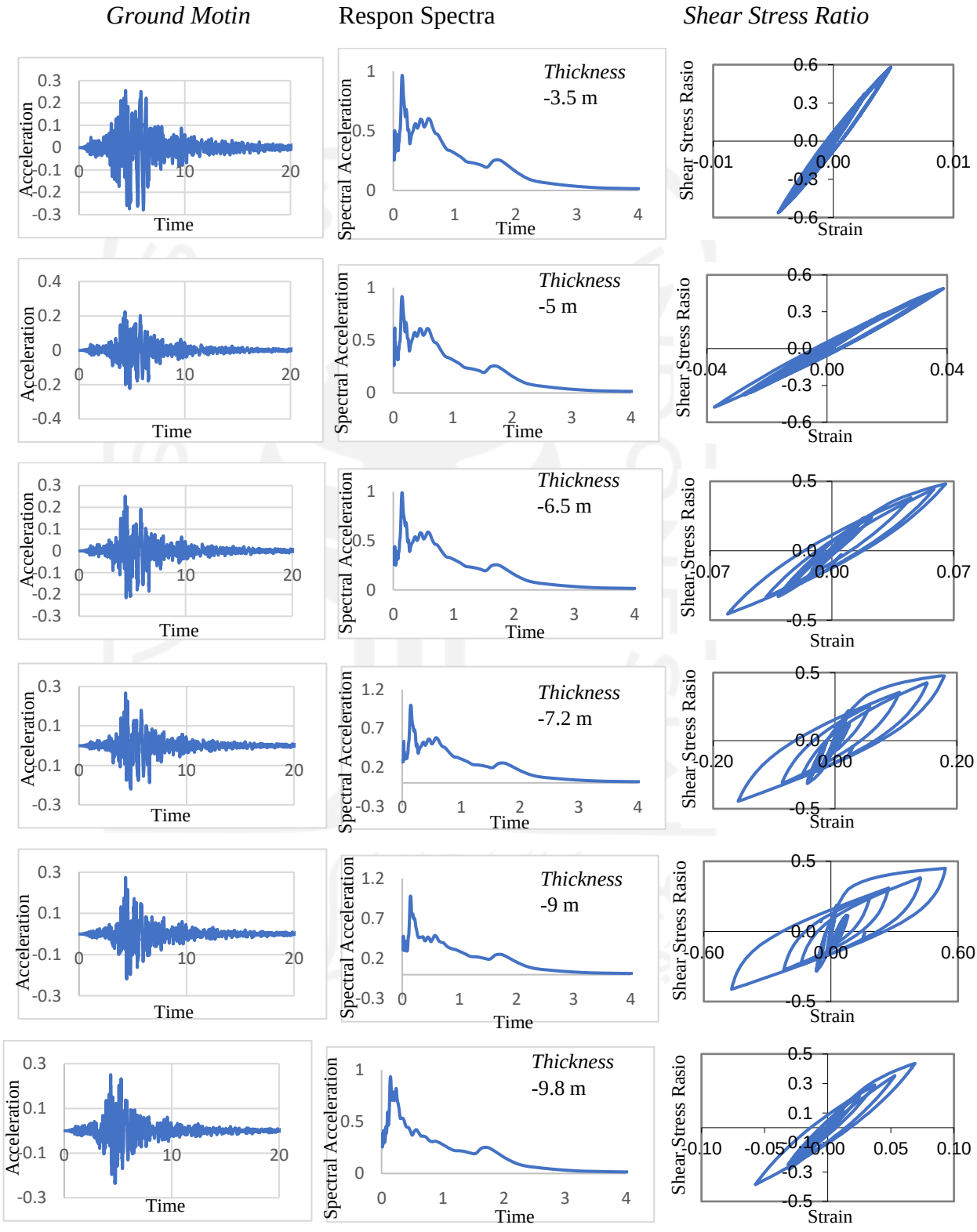
Shear Stress Ratio

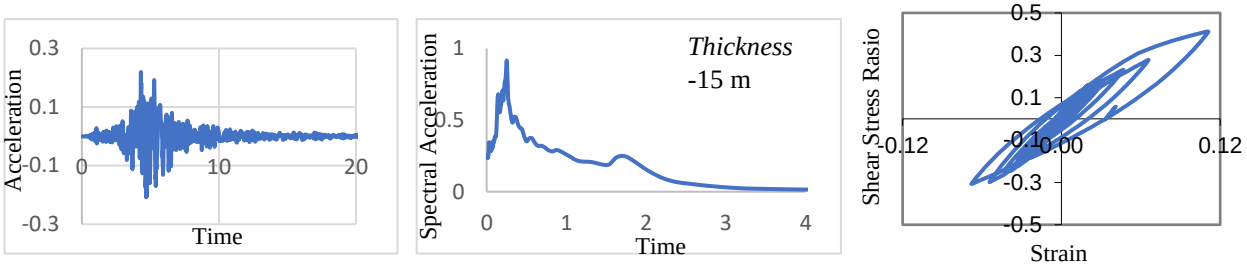




Gambar 5.40 Grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah untuk Probabilitas 2% dalam 50 Tahun**.**

Pada **Gambar 5.41** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 10% dalam 50 tahun pada daerah Pati.





Gambar 5.41 Grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah untuk Probabilitas 10% dalam 50 Tahun pada daerah Pati**.**

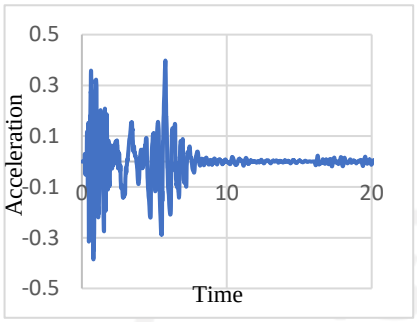
5.13.2 Parameter Dinamik Tanah Daerah Semarang

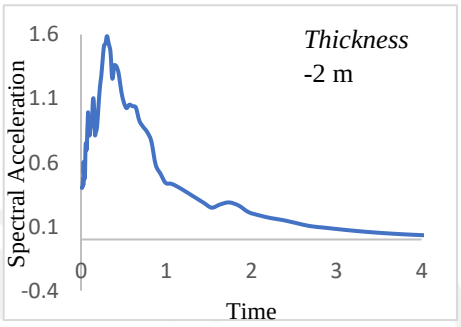
Pada **tabel 5.11** menunjukkan hasil perhitungan nilai kecepatan gelombang geser (V_S) dari pengujian N-SPT di daerah Semarang. Hasil korelasi nilai kecepatan gelombang geser (V_S) dan nilai respon spektral perlapis tanah terhadap kedalaman ditunjukkan pada **Gambar 5.42** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 2% dalam 50 tahun di dapat nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan yaitu 0.974g menjadi 1.68g. **Gambar 5.43** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 10% dalam 50 tahun di dapat nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan yaitu 1.343g menjadi 1.693g.

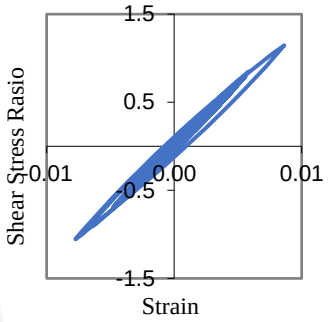
Tabel 5.11 Perhitungan nilai kecepatan gelombang geser (Vs) di daerah Semarang.

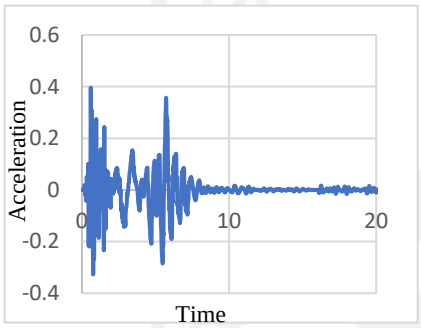
No	kedalaman (m)	Soil Material	Kumulatif (m)	NSPT	Ohta, goto (1978)	Imai, Tonouchi (1982)	Vs Pakai
1	2	Lempung bercampur kulit kerrang, abu-abu	2	6	85.30	96.90	91.10
2	2	Lempung bercampur humus, coklat	4	4	85.30	96.90	91.10
3	2	Lempung kenalauan, abu-abu	6	11	136.85	155.46	146.16
4	2	Lempung kelanauan, abu-abu putih	8	21	157.14	178.51	167.83
5	2	Lempung kelanauan, abu-abu putih	10	26	108.04	122.74	115.39
6	2	Lempung kelanauan, abu-abu kuning coklat	12	20	85.30	96.90	91.10

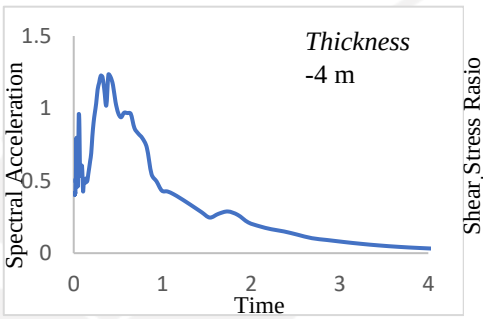
Ground Motin Respon Spectra *Shear Stress Ratio*

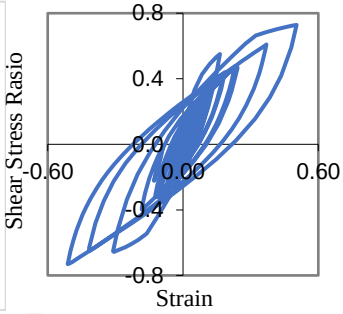


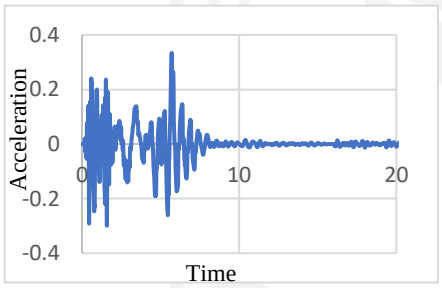


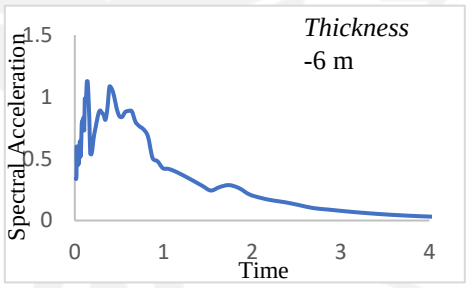


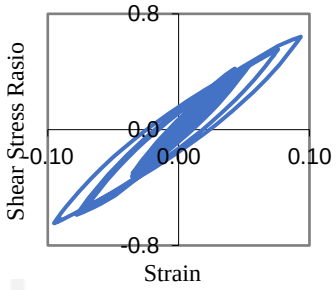


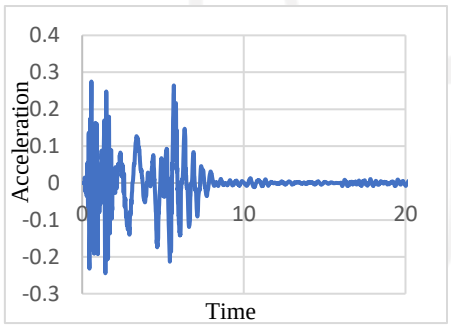


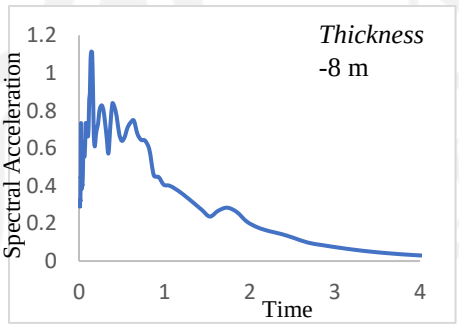


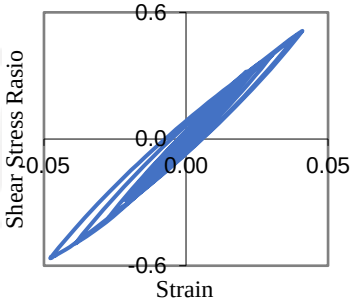


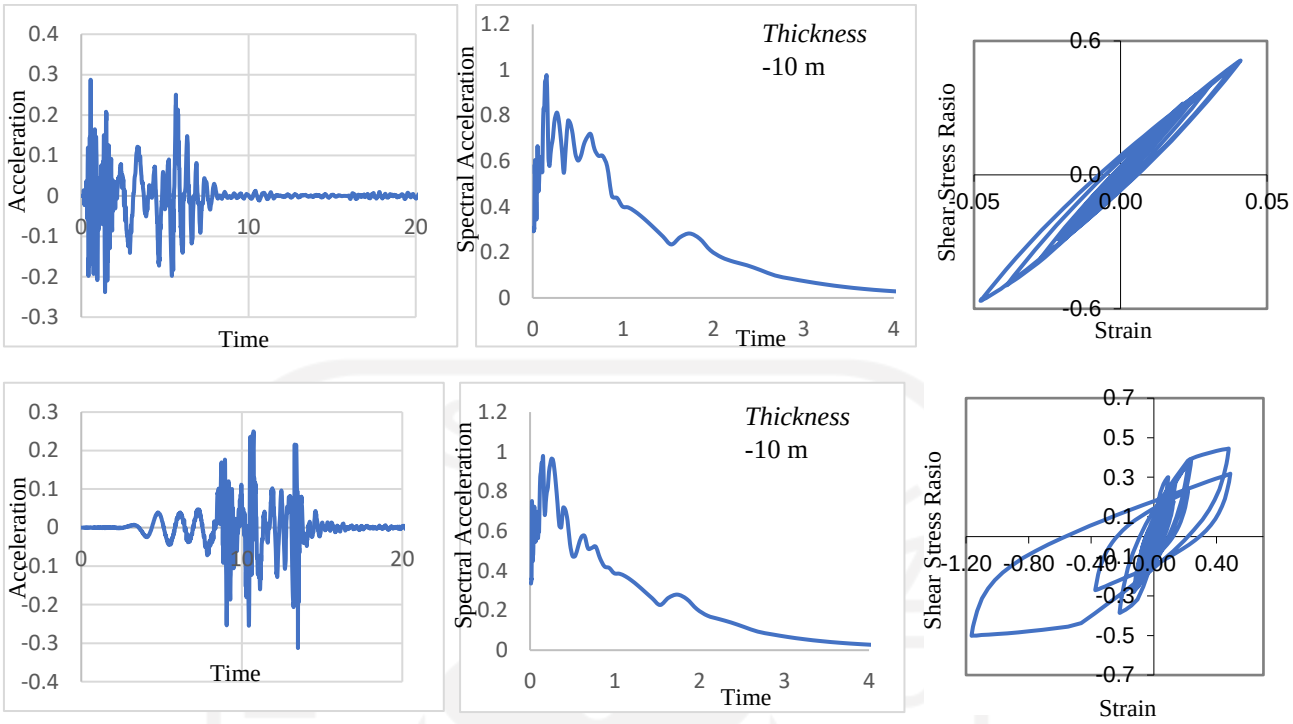








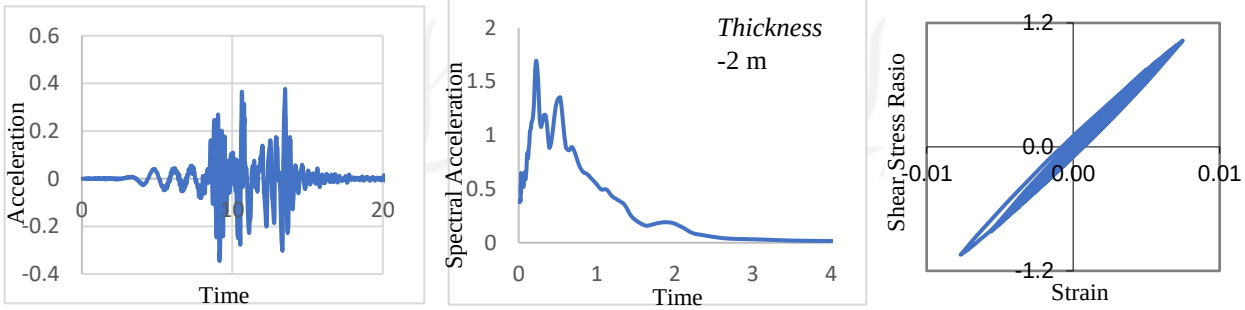


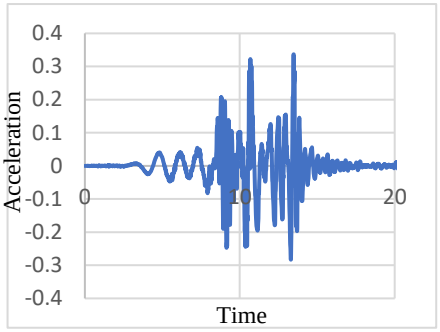


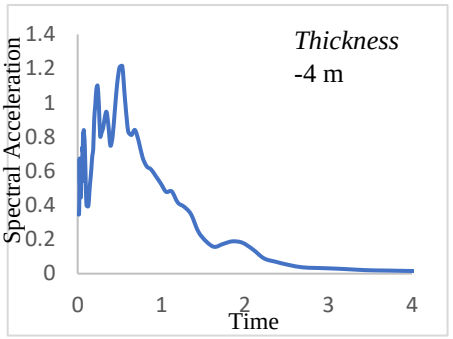
Gambar 5.42 Grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah untuk Probabilitas 2% dalam 50 Tahun pada daerah Semarang**.**

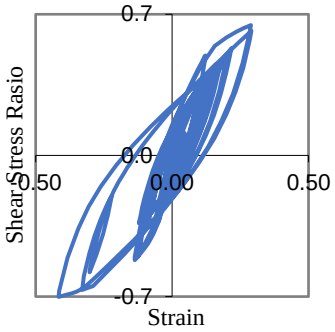
Pada **Gambar 5.43** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 10% dalam 50 tahun pada daerah Semarang.

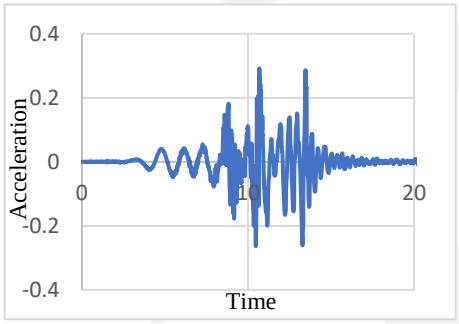
Ground Motin Respon Spectra *Shear Stress Ratio*

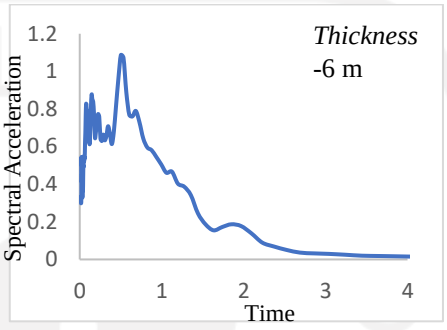


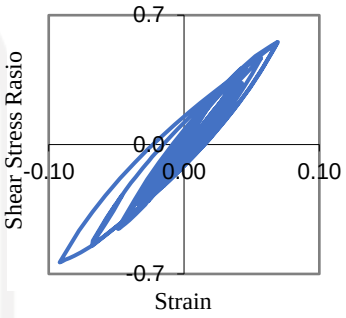

Acceleration
Time

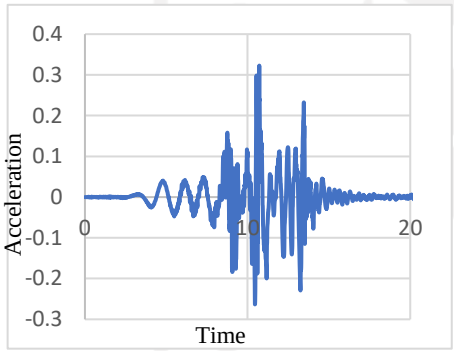

Thickness
-4 m
Spectral Acceleration
Time

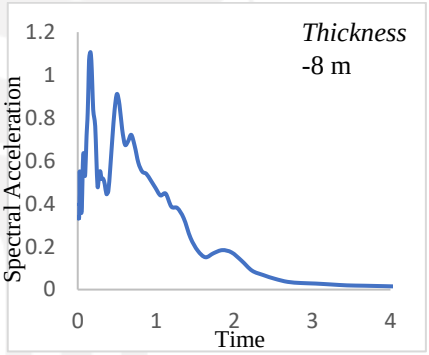

Shear Stress Rasio
Strain

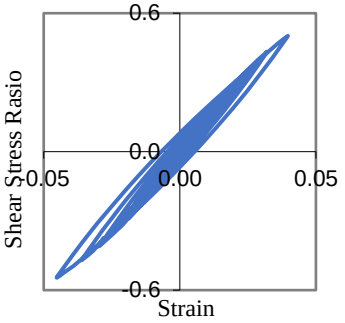

Acceleration
Time

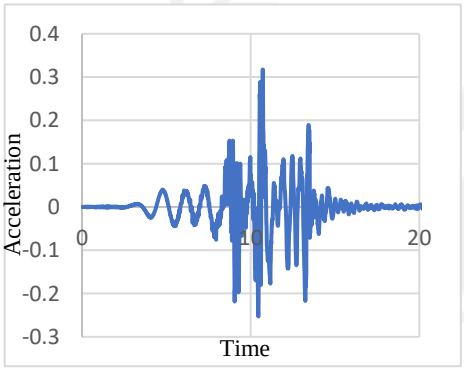

Thickness
-6 m
Spectral Acceleration
Time

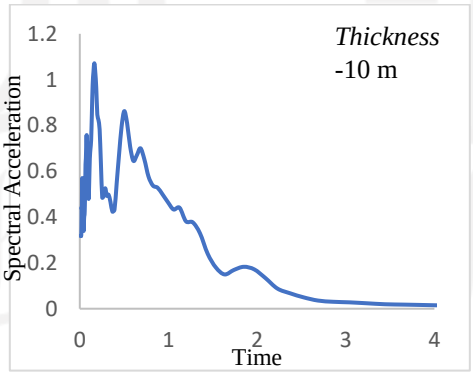

Shear Stress Rasio
Strain

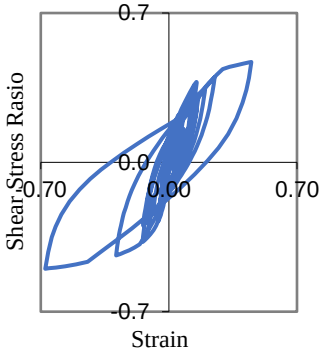

Acceleration
Time

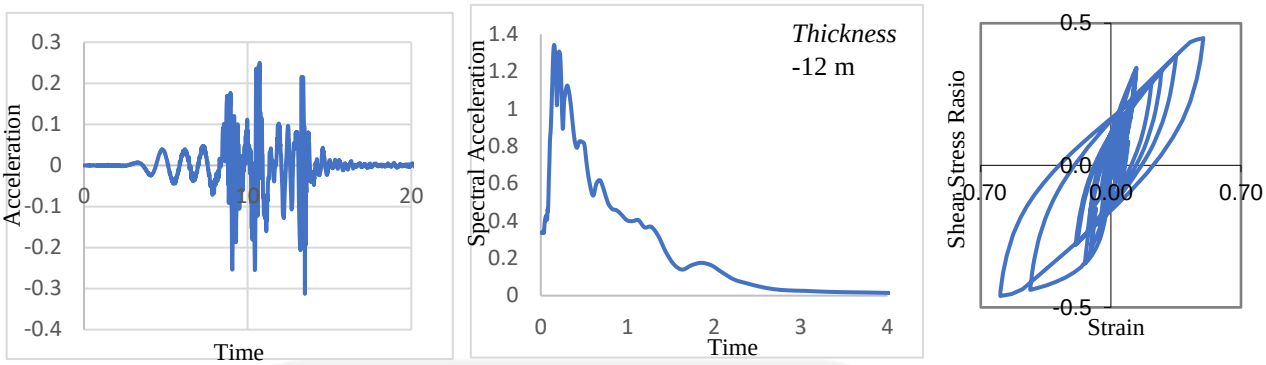

Thickness
-8 m
Spectral Acceleration
Time


Shear Stress Rasio
Strain


Acceleration
Time


Thickness
-10 m
Spectral Acceleration
Time


Shear Stress Rasio
Strain



Gambar 5.43 Grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah untuk Probabilitas 10% dalam 50 Tahun daerah Semarang**.**

5.13.3 Parameter Dinamik Tanah Daerah Solo

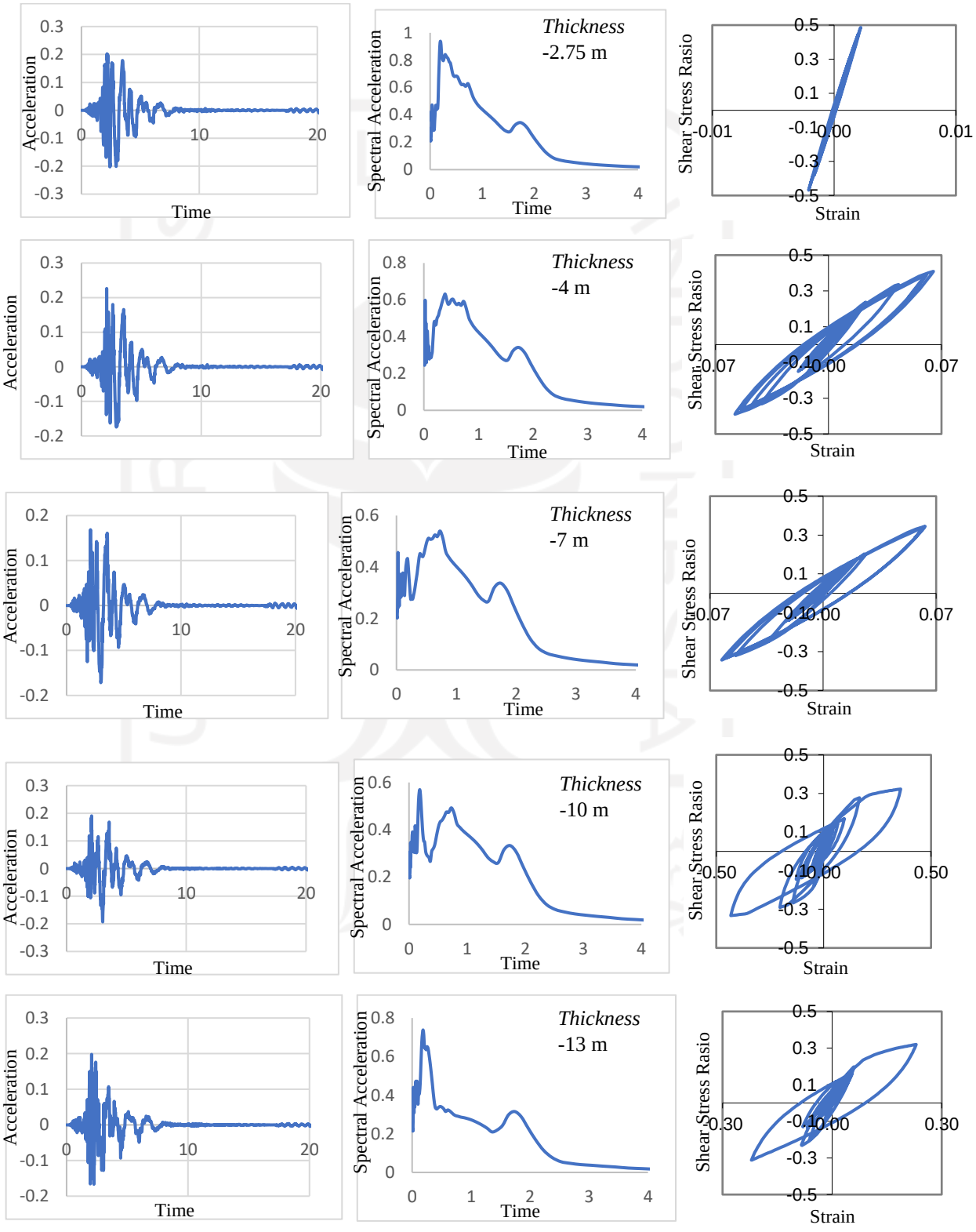
Pada **tabel 5.12** menunjukkan hasil perhitungan nilai kecepatan gelombang geser (V_S) dari pengujian N-SPT di daerah Solo. Hasil korelasi nilai kecepatan gelombang geser (V_S) dan nilai respon spektral perlapis tanah terhadap kedalaman ditunjukkan pada **Gambar 5.44** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 2% dalam 50 tahun di dapat nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan yaitu 0.651 menjadi 0.939. **Gambar 5.45** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 10% dalam 50 tahun di dapat nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.463 g menjadi 0.674 g.

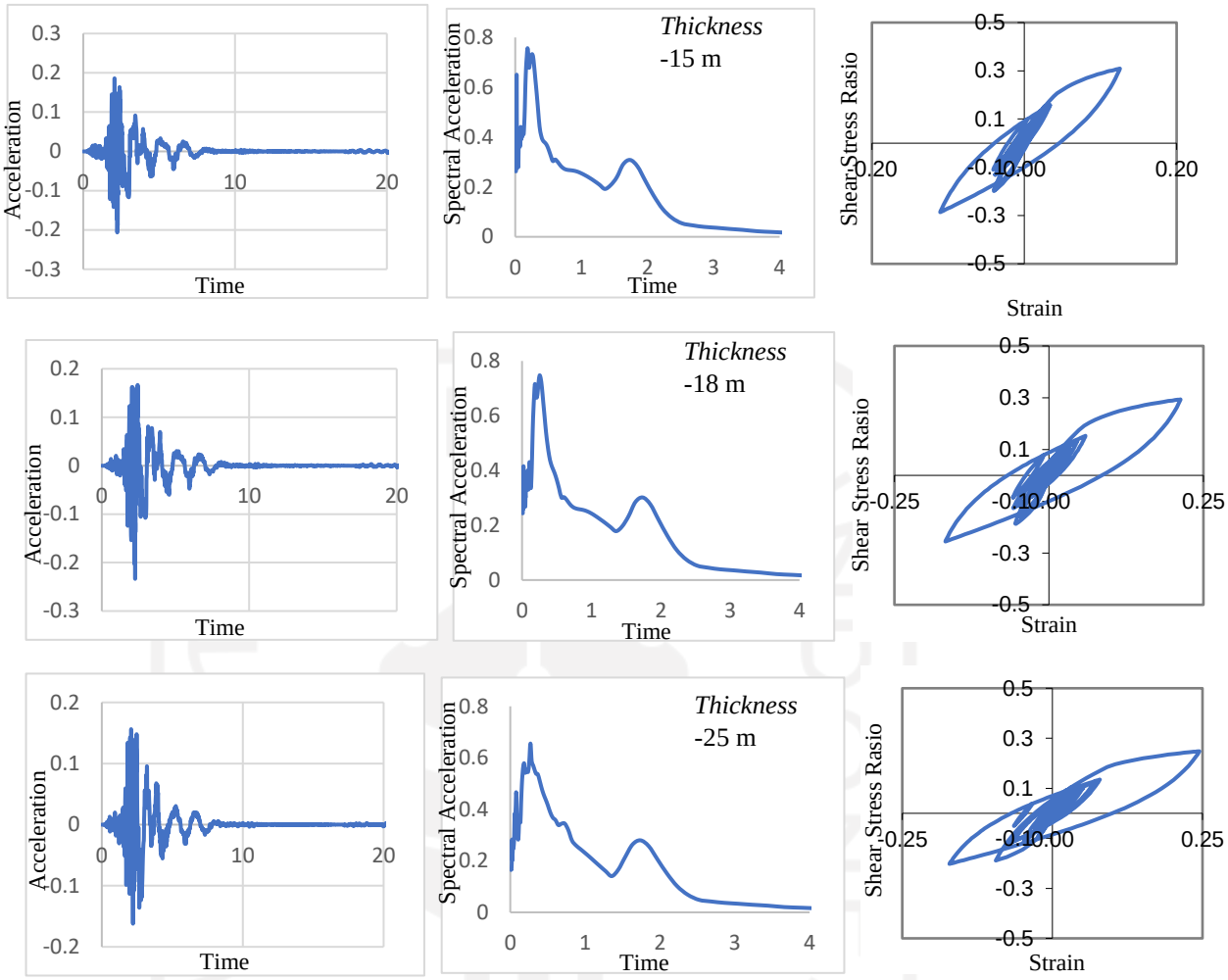
Tabel 5.13 Perhitungan nilai kecepatan gelombang geser (V_S) di daerah Solo.

No	Material	Kedalaman (m)	Kumulatif (m)	NSPT	Ohta, go (1978)	Imai, Tonouchi (1982)	Vs Pakai
1	Pasir Kelanauan	2.75	3	17	224.14	254.62	239.38
2	Lanau	1.25	5	4	136.85	155.46	146.15
3	Lempung Kelanauan	3	8	8	173.34	196.91	185.12
4	Lanau Kepasiran	3	11	10	187.04	212.48	199.76
5	Pasir Kelanauan	3	13	11	193.22	219.50	206.36
6	Lanau Kepasiran	2	15	14	209.78	238.31	224.05
7	Pasir Kelanauan	3	18	27	262.44	298.13	280.29

8	Batu pasir dan batu padas	7	25	25	255.65	290.41	273.03

Ground Motin Respon Spectra *Shear Stress Ratio*

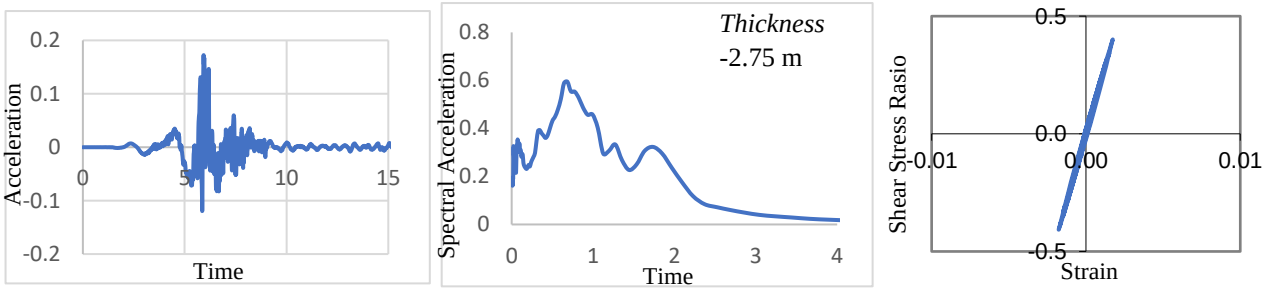


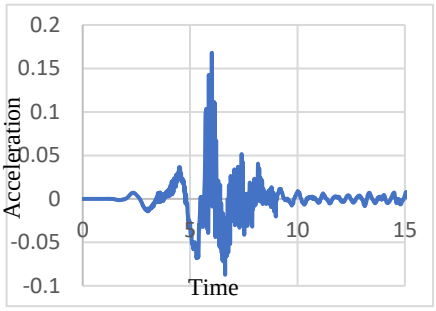


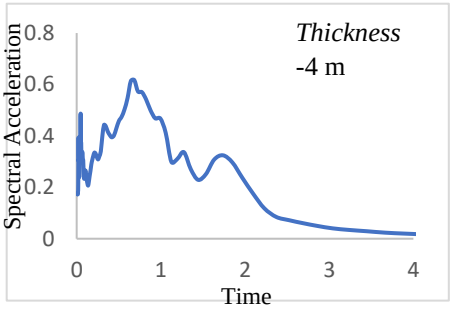
Gambar 5.44 Grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah untuk Probabilitas 2% dalam 50 Tahun pada Daerah Solo**.**

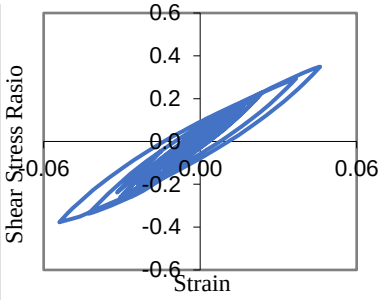
Pada **Gambar 5.45** menunjukkan grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah pada probabilitas 10% dalam 50 tahun pada daerah Solo.

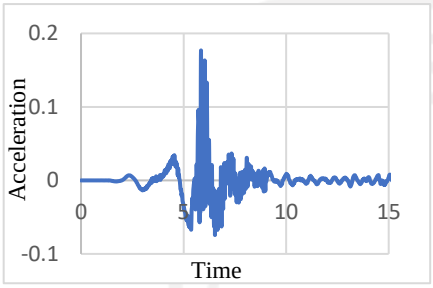
Ground Motin Respon Spectra *Shear Stress Ratio*

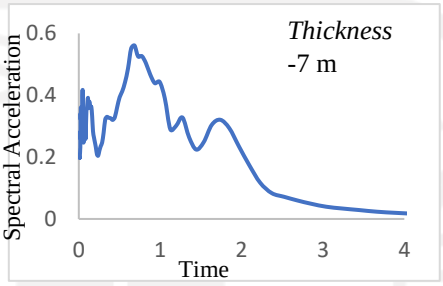


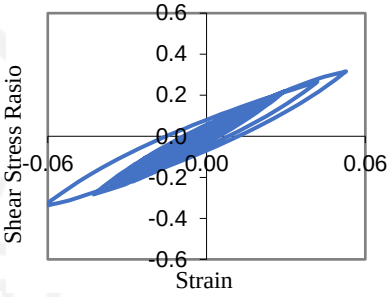

Acceleration
Time

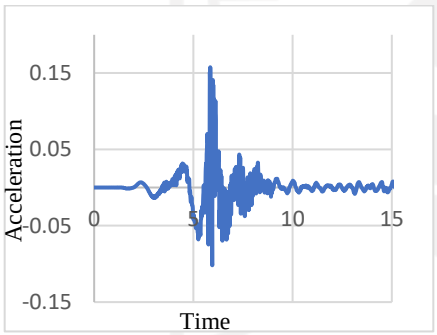

Thickness
-4 m
Spectral Acceleration
Time

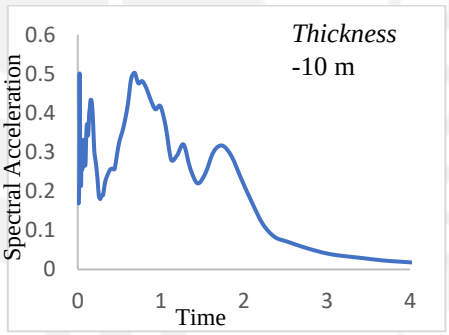

Shear Stress Rasio
Strain

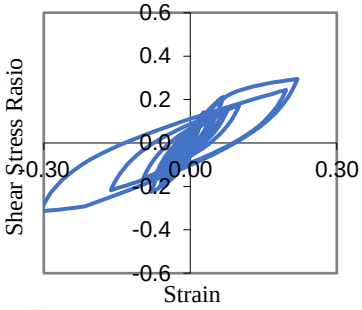

Acceleration
Time

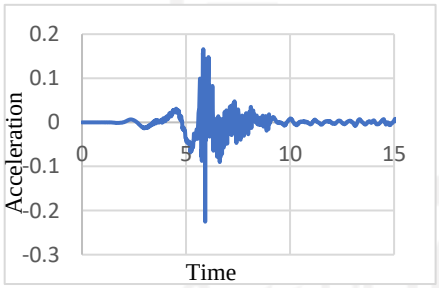

Thickness
-7 m
Spectral Acceleration
Time

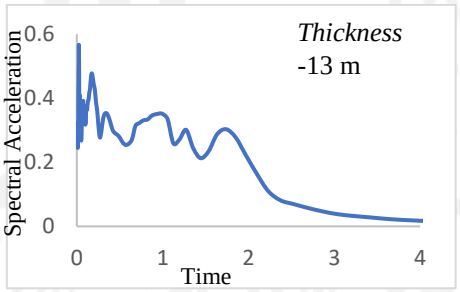

Shear Stress Rasio
Strain

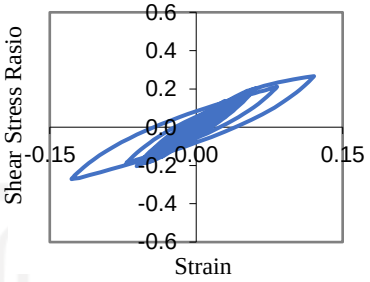

Acceleration
Time

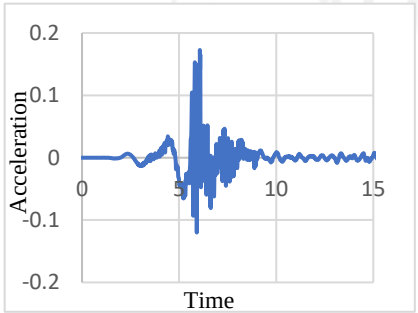

Thickness
-10 m
Spectral Acceleration
Time

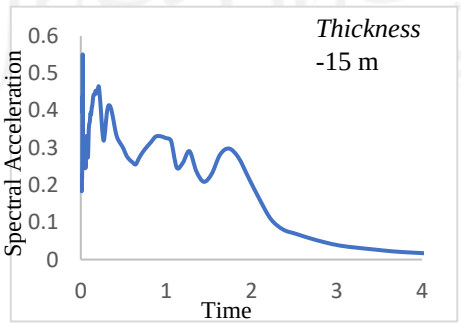

Shear Stress Rasio
Strain

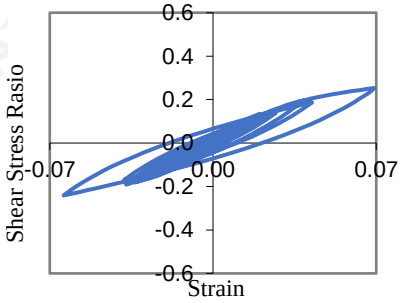

Acceleration
Time

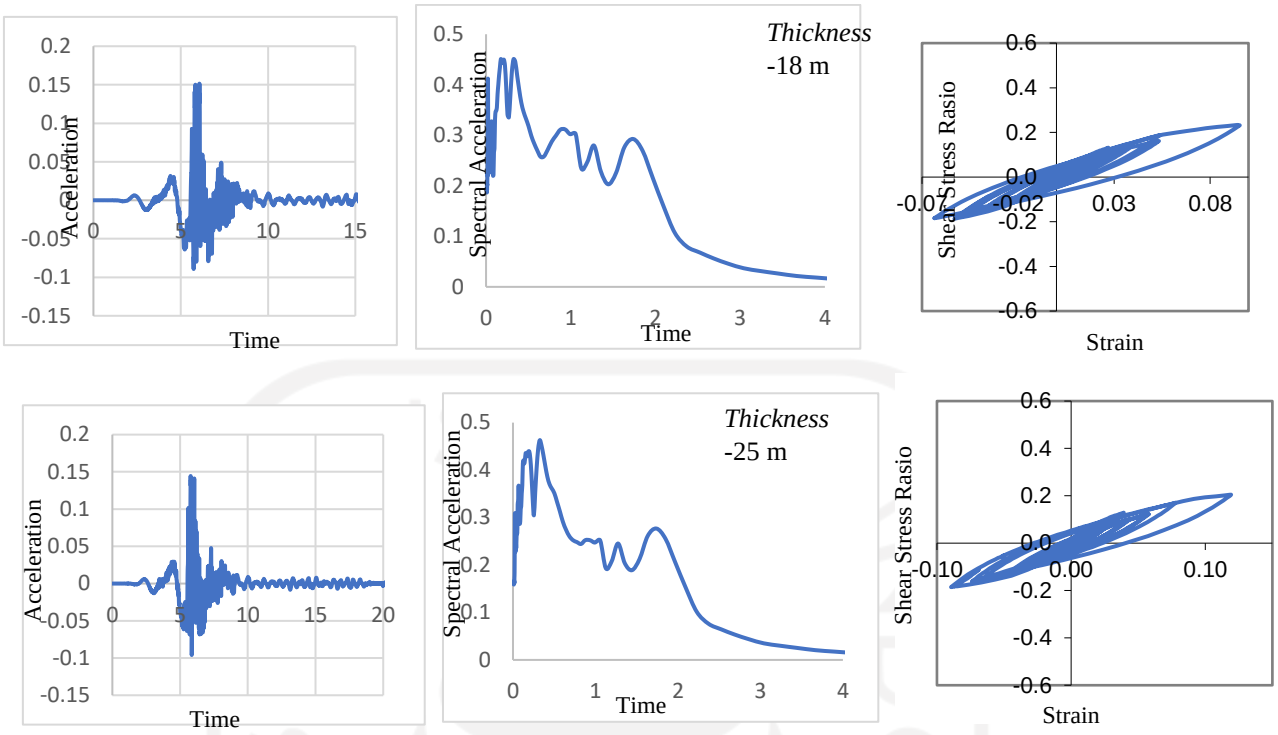

Thickness
-13 m
Spectral Acceleration
Time


Shear Stress Rasio
Strain


Acceleration
Time


Thickness
-15 m
Spectral Acceleration
Time


Shear Stress Rasio
Strain



Gambar 5.45 Grafik nilai *Ground Motion*, Respon Spectra dan *Shear Stress Ratio* terhadap kedalaman tanah untuk Probabilitas 10% dalam 50 Tahun pada Daerah Solo**.**

5.14 Faktor amplifikasi

Faktor amplifikasi tnah adalah rasio intensitas maksimum gerakan tanah permukaan terhadap intensitas maksimum gerakan di batuan dasar yang biasanya diambil pada batuan singkapan (*outcrop*). Hasil analisis perambatan gelombang geser dari batuan dasar ke permukaan menunjukkan faktor amplifikasi di daerah Semarang untuk sumber gempa *megathrust, benioff* dan *shallow crustal* .

Tabel 5.13 Faktor Amplifikasi Ketiga Daerah Penelitian.

No.	Daerah	Koordinat		Amplifikasi	
		Long	Lat	Probabilitas 2%	Probabilitas 10%
1	Solo	110.7878	-7.5758	1.432	1.184
2	Pati	111.1262	-6.8863	1.144	1.054
3	Semarang	110.2936	-7.1047	1.629	1.261

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis *hazard* gempa pada periode PGA, 0.2 detik, 1 detik dengan probabilitas terlampaui 2% dan 10 % dalam 50 tahun, mendekati dengan rentang nilai yang tercantum dalam Pusgen 2017 sebagai berikut:
   a. Periode PGA di batuan dasar untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.6g, sedangkan probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.2 g – 1g. Pada peta respon spektra pada periode 0.2 detik di batuan dasar probabilitas 10% rentang nilai antara 0.15g-2.0 g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.3-2.5. Pada peta respon spektra pada periode 1 detik di batuan dasar probabilitas 10% rentang nilai antara 0.1g-0.6g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.15-0.8.
   b. Pada periode PGA di permukaan untuk probabilitas 10% terlampaui dalam 50 tahun menunjukkan rentang nilai antara 0.1g – 0.7g, sedangkan probabilitas 2% menunjukkan rentang nilai antara 0.2 g – 0.15g. Pada peta respon spektra pada periode 0.2 detik di permukaan probabilitas 10% rentang nilai antara 0.2g-2.0 g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.3-2.5. Pada peta respon spektra pada periode 1 detik di permukaan probabilitas 10% rentang nilai antara 0.1g-0.6g, untuk probabilitas 2% rentang nilai 0.15-1.0.
2. Pada peta percepatan getaran periode pendek *(Fa)* dan peta percepatan getaran periode panjang periode panjang (*Fv*) Provinsi Jawa Tengah, nilai Fa memiliki rentang nilai 0.9-2.0g dan nilai Fv memiliki rentang nilai 1.2-3.0g, kelas situs yang di dapat sesuai dengan klasifikasi situs pada SNI 1726-2019 berdasarkan nilai Vs30 yang di dapat dari USGS, pada kelas situs yang tercantum pada SNI 1726-2019 dari kelas situs tanah keras (SA) - batuan lunak (SE) mengalami penambahan nilai pada setiap kelas situs.

3. Respon spektra di permukaan tanah pada ke tiga daerah untuk probabilitas terlampaui 2% dan 10% dalam 50 tahun memberikan rentang percepatan sebagai berikut :
    a. Pada daerah Solo pada Probabilitas 2% dalam 50 tahun nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.655g menjadi 0.939g dan Probabilitas 10% dalam 50 tahun nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.463 g menjadi 0.594 g.
    b. Pada daerah Semarang pada Probabilitas 2% dalam 50 tahun nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.974 g menjadi 1.688g dan Probabilitas 10% dalam 50 tahun nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 1.343 g menjadi 1.693 g.
    c. Pada daerah Pati pada Probabilitas 2% dalam 50 tahun nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.897g menjadi 1.029g dan Probabilitas 10% dalam 50 tahun nilai respon spectra pada bedrock ke permukaan 0.902 g menjadi 0.966 g.

    Hasil analisis perambatan gelombang geser dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk gempa subduksi dan *shallow crustal* menunjukkan faktor amplifikasi yang didapatkan:
    a. Pada daerah Solo pada Probabilitas 2% 1.432 g dan Probabilitas 10% 1.284 g.
    b. Pada daerah Semarang pada Probabilitas 2% 1.629 g dan Probabilitas 10% 1.261 g.
    c. Pada daerah Pati pada Probabilitas 2% 1.144 g. dan Probabilitas 10% 1.054 g.

6.2 Saran

1. Hasil dari penelitian yang diperoleh bahwa lokasi-lokasi yang memiliki jarak cukup dekat dengan sumber gempa pada probabilitas 2% dalam 50 tahun memiliki nilai percepatan lebih tinggi untuk 3 periode waktu (0 detik, 0.2 detik, dan 1 detik) apabila dibandingkan dengan PE 10%, tetapi untuk lokasi-lokasi yang berada cukup jauh dengan sumber gempa, nilai percepatan maksimum bervariasi, maksudnya nilai percepatan tertinggi tidak selalu berada pada PE 2% tetapi pada periode waktu tertentu juga terjadi pada PE 10%. Penyebab dari perbedaan adalah perhitungan nilai rate pada setiap subduksi dan swallow

crustal yang tidak di cantumkan pada Pusgen 2017 sehingga disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut kedepannya.

2. Pada penelitian yang akan dilakukan selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis PSHA dengan menggunakan *software* yang berbeda, sehingga tingkat keakuratan *software* dalam menganalisis bisa diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

Asrurrifak,M., Irsyam, M., Budiono, B., Triyoyo, W., Meratia, W., Sengara, I.W., *Peta Spektra Hazard Indonesia Dengan Menggunakan Model Gridded Seismicity Untuk Sumber Gempa Background*, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 2009.

Ariwibowo. 2014. *Pengembangan Peta Percepatan Tanah di Permukaan Berdasarkan Data Geologi untuk Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis, Universitas Islam Indonesia.

Asurrifak. 2010. *Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Model Sumber Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilistik*. Disertasi. Institut Teknologi Bandung.

Berggren et al. 1985. Cenozonic Geochronology. *Geol. Soc. Am. Bull., 96(11), 1407-1418).*

Butaru. 2011. *Hidup Harmoni dengan Risiko Bencana*. Jakarta: Badan Koordinasi Penataan Ruang Nasional.

Boore D. M. dan Atkinson G.M., *NGA (Next Generation Attenuation), Ground Motion Relations for Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters*, PEER Report, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering University of California, Barkeley, California, USA, 2007.

BSN. 2012. *SNI 1726: 2012 tentang Tata Cara Perencanaaan Ketahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.

David. 1983. *Disain Bangunan Tingkat Banyak Tahan gempa*. Yayasan LPMB: Bandung.

Delfebriyadi. 2001. Deagregasi Hazard Kegempaan Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil. ISNN 0853-2982 Vol. 18, No.3, Desember 2011. Pp. 217-225*.

Douglas. 2018. *Ground Motion Predictinon Equations 1964-2018.* Departmen of Civil and Environmental Engineering, University of Stratchlyde: Glagow.

Fauzi, U.J., 2011, *Peta Deagregasi Indonesia Berdasarkan Analisis Probabilitas dengan Sumber Gempa Tiga Dimensi*, Program Pascasarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITB, Bandung.

Ibrahim, G. dan Subardjo, 2003, *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi danKlimatologi, Manado.

Idriss, I.M., 1985, *Evaluating Seismic Risk Engineering Practice*, Proceedings of the 11^{th} International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 1, 255-320.

Irsyam, M., Sengara I.W., Adiamar, 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 Gempa Indonesia*, Bandung, 1 Juli 2010.

Jones, N. W., Jones, C. E., 2008, *Laboratory Manual of Physical Geology* 6^{th} *ed*., The McGraw-Hill Company, New York.

Katili, J.A., 1970, *Large transcurrent faults in southeast Asia with special reference toIndonesia*, Geol. Rundshc., 59, 581-600.

Katili, J.A. dan Marks, 1962, Geologi, Departemen Urusan Research Nasional Djakarta, Kilatmadju, Bandung.

Kertapati, E.K., 1999. *Probabilistic Estimates of Seismic Ground-Motion Hazard in Indonesia*, Prosiding Konferensi Nasional Rekayasa Kegempaan, Bandung, Nopember.

Kertapati, E.K., Soehaemi, A. dan Djuhanda, A., 1992, *Seismotectonic Map of Indonesia*,1:5,000,000 *scale*, Geol. Res. Dev. Center, Bandung.

Kramer, S.L, 1996, *Geotechnical Earhquake Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey

Muntafi, Y., *Analisis Risiko dan Mikrozonasi Hazard Gempa Jakarta Metode Probabilitas Dengan Pemodelan Sumber Gempa Tiga Dimensi*, Tesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2012.

Sunardi, *Peta Deagregasi Hazard Gempa Wilayah Jawa dan Rekomendasi Ground Motion di Empat Wilayah*, Tesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2013.

Susilo, *Peta Hazard Kegempaan Untuk Pulau Jawa dengan Perhitungan Probabilistik dan Pemodelan Sumber Gempa Tiga Dimensi*, Tesis, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2011.

Weichert, D. H., 1980, *Estimation Of The Earthquake Recurrence Parameter For Unequal Observation Periods For Different Magnitudes*, Build. Seis. Soc. Am. 70(4), 1337-1346.

Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, *New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, And Surface Displacements*, Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974–1002.

Widodo Pawirodikromo, 2012, *Seismology Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Cetakan I, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Widodo, 2001, *Respon Dinamik Struktur Elastik*, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Youngs, R.P. and Coppersmith, K.J., 1985, *Implications of Fault Slip Rates and Earthquake Recurrence Models to Probabilistic Seismic Hazard Estimates*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, No. 4, pp. 939-964.

LAMPIRAN I

Input Data Source

33

0.0 101 3 8 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.900 0.000 0.00 1.00 0.00 2.556
0.000 0.000 1.096 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 102 3 9 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.287
0.000 0.000 3.162 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 101 3 8 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.900 0.000 0.00 1.00 0.00 2.764
0.000 0.000 3.311 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 102 3 9 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.510
0.000 0.000 2.512 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 101 3 8 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.900 0.000 0.00 1.00 0.00 2.110
0.000 0.000 0.933 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 102 3 9 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.800 0.000 0.00 1.00 0.00 1.941
0.000 0.000 0.989 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 101 3 8 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.900 0.000 0.00 1.00 0.00 2.139
0.000 0.000 3.110 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 102 3 9 0 0.50 0.50 0.00 5.000 8.800 0.000 0.00 1.00 0.00 3.017
0.000 0.000 3.673 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 7.300 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.594 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 7.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.673 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.700 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.025 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.017 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.800 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.097 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00

0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.600 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.033 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.004 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
0.0 105 10 2 11 0.30 0.30 0.40 5.000 6.500 0.000 0.00 1.00 0.00 2.303
0.000 0.000 0.002 0.000 0.000 1.00 0.00 0.00
Megathrust Jawa1
4 5.00 50.00 14.00
103.6833 -7.9208 104.5704 -6.5111
104.7076 -8.3790 105.2638 -6.9056
105.4416 -8.8043 106.1820 -7.3924
106.1260 -9.2403 106.8463 -7.7668
Benioff Jawa1
4 50.00 200.00 47.00
104.5704 -6.5111 105.4051 -5.1699
105.2638 -6.9056 106.1134 -5.6137
106.1820 -7.3924 106.8302 -5.9741
106.8463 -7.7668 107.5639 -6.3260
Megathrust Jawa2
4 5.00 50.00 14.00
106.1260 -9.2403 106.8463 -7.7668
108.0720 -10.0763 107.6075 -8.0804
109.1038 -10.1336 108.8656 -8.5229
109.5467 -10.2884 109.4464 -8.6188
Benioff Jawa2
4 50.00 200.00 46.00
106.8463 -7.7668 107.5639 -6.3260

107.6075 -8.0804 108.1776 -6.5558
108.8656 -8.5229 109.1103 -6.8688
109.4464 -8.6188 109.7542 -7.0043
Megathrust Jawa3
4 5.00 50.00 13.00
109.5467 -10.2884 109.4464 -8.6188
110.2060 -10.4014 110.5814 -8.7482
111.0846 -10.5477 110.8943 -8.8711
111.7809 -10.6734 111.9679 -8.9232
Benioff Jawa3
4 50.00 200.00 44.00
109.4464 -8.6188 109.7542 -7.0043
110.5814 -8.7482 110.8436 -7.1206
110.8943 -8.8711 111.3879 -7.1628
111.9679 -8.9293 112.1152 -7.2128
Megathrust Jawa4
4 5.00 50.00 13.00
111.7809 -10.6734 111.9679 -8.9293
113.1721 -10.9312 112.6759 -9.0415
114.3559 -11.1217 113.8856 -9.2467
114.4366 -9.3119 114.4366 -9.3119
Benioff Jawa4
4 50.00 200.00 43.00
111.9679 -8.9293 112.1152 -7.2128
112.6759 -9.0415 113.1409 -7.3292
113.8856 -9.2467 113.9145 -7.3864
114.4366 -9.3119 114.5386 -7.4232
Ujung Kulon A
2 3.00 18.00 90.00
104.8891 -6.2867 104.8891 -6.2867
105.2123 -6.9361 105.2123 -6.9361
Ujung Kulon B
3 3.00 18.00 90.00
105.2181 -7.0101 105.2181 -7.0101
105.6191 -7.4983 105.6191 -7.4983
106.1575 -7.9909 106.1575 -7.9909
Cimandri
2 3.00 18.00 45.00
106.5393 -7.0325 106.5241 -7.1943
106.7461 -7.0493 106.7325 -7.2100
Nyilindung Cibeber
3 3.00 18.00 45.00
106.7683 -7.0499 106.8155 -7.2061
106.9657 -6.9949 106.9932 -7.1559
107.0360 -6.9931 107.0421 -7.1592

Rajamandala
2 3.00 18.00 90.00
107.0866 -6.9844 107.0866 -6.9844
107.4619 -6.8367 107.4619 -6.8367
Lembang
3 3.00 18.00 90.00
107.4858 -6.8278 107.4858 -6.8278
107.5485 -6.8127 107.5485 -6.8127
107.7425 -6.8563 107.7425 -6.8562
Subang
2 3.00 18.00 45.00
107.8389 -6.5791 107.7569 -6.7153
108.1022 -6.7254 108.0265 -6.8623
Ciremai
2 3.00 18.00 90.00
108.2914 -6.8848 108.2914 -6.8848
108.4627 -6.9463 108.4627 -6.9463
Cirebon
2 3.00 18.00 45.00
108.6451 -6.8948 108.5377 -7.0210
108.7667 -6.9968 108.6637 -7.1192
Brebes
3 3.00 18.00 45.00
108.7935 -6.9818 108.7819 -7.1477
108.9170 -6.9948 108.8687 -7.1511
108.9829 -7.0293 108.9131 -7.1740
Pemalang
3 3.00 18.00 45.00
109.1821 -6.9866 109.2478 -7.1361
109.2324 -6.9556 109.2983 -7.1051
109.3076 -6.9619 109.3721 -7.1114
Pekalongan
2 3.00 18.00 45.00
109.5175 -7.0088 109.5606 -7.1665
109.6548 -6.9746 109.6968 -7.1339
Weleri
4 3.00 18.00 45.00
109.8911 -6.9253 109.8847 -7.0884
109.9208 -6.9133 109.9122 -7.0761
109.9898 -6.9238 109.9519 -7.0830
110.0298 -6.9542 109.9794 -7.1052
Muria
3 3.00 18.00 45.00
110.8016 -6.7791 111.0672 -6.8899
110.9215 -6.5927 111.1835 -6.7081

110.9072 -6.4593 111.1867 -6.5769
Demak
2 3.00 18.00 45.00
110.5116 -7.0864 110.4923 -7.2467
110.7917 -7.1121 110.7706 -7.2751
Purwodadi
3 3.00 18.00 45.00
110.8511 -7.1633 110.8794 -7.3218
110.9158 -7.1450 110.9235 -7.3053
111.1880 -7.1728 111.1689 -7.3313
Ungaran 1
3 3.00 18.00 45.00
110.2506 -7.0958 110.2495 -7.2278
110.3728 -7.0909 110.3593 -7.2241
110.4221 -7.1068 110.4050 -7.2338
Ungaran 2
2 3.00 18.00 45.00
110.4172 -7.1654 110.5047 -7.1812
110.4307 -7.0714 110.5194 -7.0982
Semarang
3 3.00 18.00 45.00
110.1949 -6.9927 110.2374 -7.1489
110.2879 -6.9677 110.2965 -7.1293
110.4881 -7.0184 110.4423 -7.1757
Rawapening
3 3.00 18.00 45.00
110.4116 -7.2448 110.2994 -7.3564
110.4787 -7.2700 110.3633 -7.3874
110.5200 -7.3499 110.4012 -7.4600
Pati
2 3.00 18.00 90.00
110.7839 -6.9725 110.7839 -6.9725
111.3790 -6.7882 111.3790 -6.7882
Merapi Merbabu
2 3.00 18.00 90.00
110.4314 -7.3489 110.3663 -7.4376
110.4625 -7.5951 110.3899 -7.6541
Opak
2 3.00 18.00 60.00
110.5535 -7.7180 110.6272 -7.7795
110.2839 -8.0223 110.3530 -8.0844
Cepu
2 3.00 18.00 45.00
111.2236 -7.1955 111.1895 -7.3555
112.1114 -7.3812 112.0765 -7.5405

Waru
2 3.00 18.00 45.00
112.1213 -7.3360 112.1229 -7.4965
112.7016 -7.3273 112.7042 -7.4886

LAMPIRAN II

Hasil *Running Multisite* PSHA Batuan Dasar pada Periode Waktu T = 0 detik (PGA), T=0.2, T=1

Dikarenakan jumlah data dari hasil *running* program SR Model mencapai 55.069 data, maka pada lampiran ini data yang disajikan hanya bebebrapa titik saja yang mewakili data dari hasil analisis. Di bawah ini merupakan contoh *output* dari analisis program Zmap.

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T 0.2		Respon Spektra T 1	
		10%	2%	10%	2%	10%	2%
110.8417	-6.4083	0.0953	0.1609	0.1982	0.3328	0.0983	0.1826
110.85	-6.4083	0.0949	0.1601	0.1976	0.3315	0.0981	0.1825
110.8583	-6.4083	0.0953	0.1609	0.1983	0.3331	0.0983	0.1827
110.8667	-6.4083	0.095	0.1602	0.1978	0.332	0.0981	0.1826
110.875	-6.4083	0.0986	0.1715	0.2199	0.3589	0.1082	0.1909
110.8917	-6.4083	0.0983	0.171	0.2176	0.3584	0.1079	0.1909
110.9	-6.4083	0.0985	0.1714	0.2182	0.3588	0.1079	0.191
110.9083	-6.4083	0.0982	0.171	0.217	0.3586	0.1075	0.1909
110.9167	-6.4083	0.0981	0.171	0.2171	0.3592	0.1079	0.1912
110.925	-6.4083	0.0875	0.139	0.1852	0.3069	0.0894	0.1685
110.9333	-6.4083	0.0854	0.1364	0.1831	0.3071	0.089	0.1683
110.9917	-6.4083	0.0808	0.1318	0.1797	0.3074	0.0884	0.1667
111	-6.4083	0.0795	0.1298	0.1776	0.3063	0.0878	0.1657
110.8333	-6.4167	0.0955	0.2019	0.1987	0.3348	0.0985	0.1831

.

.

.

.

.

.

111.6917	-8.3583	0.4436	0.9216	0.7634	1.6999	0.2862	0.5883
111.675	-8.3667	0.3994	0.8893	0.693	1.6395	0.2796	0.5763
111.6833	-8.3667	0.4535	0.9363	0.7822	1.7224	0.2888	0.5979
111.6917	-8.3667	0.4514	0.9332	0.7782	1.7175	0.2882	0.5955

LAMPIRAN III

Hasil *Running Multisite* PSHA Permukaan pada Periode Waktu T = 0 detik (PGA), T=0.2, T=1

Dikarenakan jumlah data dari hasil *running* program SR Model mencapai 55.069 data, maka pada lampiran ini data yang disajikan hanya bebebrapa titik saja yang mewakili data dari hasil analisis. Di bawah ini merupakan contoh *output* dari analisis program Zmap

Longitude	Latitude	PGA		Respon Spektra T 0.2		Respon Spektra T 1	
		0.1	0.02	0.1	0.02	0.1	0.02
110.8417	-6.4083	0.0985	0.1716	0.222	0.3618	0.103	0.187
110.85	-6.4083	0.0983	0.1713	0.2206	0.3615	0.1027	0.187
110.8583	-6.4083	0.0984	0.171	0.2218	0.361	0.1023	0.1866
110.8667	-6.4083	0.0981	0.1702	0.2192	0.3595	0.1016	0.1863
110.875	-6.4083	0.0991	0.1727	0.224	0.3622	0.1086	0.1911
110.8917	-6.4083	0.1016	0.1773	0.2365	0.3748	0.1116	0.1928
110.9	-6.4083	0.1016	0.1772	0.2357	0.3741	0.1112	0.1926
110.9083	-6.4083	0.0995	0.1747	0.2285	0.3683	0.1093	0.1917
110.9167	-6.4083	0.0993	0.1744	0.2277	0.368	0.1094	0.1918
110.925	-6.4083	0.0912	0.1518	0.1928	0.319	0.0921	0.1721
110.9333	-6.4083	0.0868	0.1406	0.1859	0.2983	0.0897	0.1689
110.9917	-6.4083	0.0827	0.1369	0.183	0.2979	0.0891	0.1674
111	-6.4083	0.0816	0.1347	0.1811	0.2967	0.0885	0.1665
110.8333	-6.4167	0.0983	0.1709	0.2203	0.3599	0.1023	0.1866
110.8417	-6.4167	0.0982	0.1709	0.2196	0.3604	0.1023	0.1868
110.85	-6.4167	0.0985	0.1717	0.2214	0.3618	0.1027	0.187
110.8583	-6.4167	0.0986	0.172	0.2233	0.3634	0.1029	0.1872
110.8667	-6.4167	0.1034	0.1785	0.2402	0.3769	0.1124	0.1932
.							
.							
.							
.							
.							
.							
.							
.							
.							
.							
111.6917	-8.3583	0.4436	0.9216	0.7634	1.6999	0.2862	0.5883
111.675	-8.3667	0.3994	0.8893	0.693	1.6395	0.2796	0.5763
111.6833	-8.3667	0.4535	0.9363	0.7822	1.7224	0.2888	0.5979
111.6917	-8.3667	0.4514	0.9332	0.7782	1.7175	0.2882	0.5955