

**PENENTUAN PARAMETER SEISMOTEKTONIK b -VALUE
DAERAH PATAHAN OPAK YOGYAKARTA
BERDASARKAN DATA GEMPABUMI 2005-2016**

SKRIPSI

Oleh:

Hadiyani Afina Rafika

125090700111026



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2016

PENENTUAN PARAMETER SEISMOTEKTONIK b -VALUE

**DAERAH PATAHAN OPAK YOGYAKARTA
BERDASARKAN DATA GEMPABUMI 2005-2016**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh
gelar sarjana sains di bidang Fisika

Oleh:

Hadiyani Afina Rafika
125090700111026



JURUSAN FISIKA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG
2016

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENENTUAN PARAMETER SEISMOTEKTONIK b -VALUE
DAERAH PATAHAN OPAK YOGYAKARTA
BERDASARKAN DATA GEMPABUMI 2005-2016**

Oleh:

Hadiyani Afina Rafika
125090700111026

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal **08 DEC 2016**
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh
gelar sarjana sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I



Sukir Maryanto, Ph.D
NIP. 197106211998021001

Pembimbing II



Ari Sungkowo, S.Si.
NIP. 197607102006041003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Sukir Maryanto, Ph.D
NIP. 197106211998021001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Hadiyani Afina Rafika

NIM : 125090700111026

Jurusan : Fisika

Penulis tugas akhir berjudul

Penentuan Parameter Seismotektonik *b-value* Daerah Patahan Opak Yogyakarta Berdasarkan Data Gempabumi 2005-2016

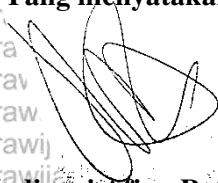
dengan ini menyatakan bahwa:

- 1.) Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya dari nama-nama yang tercantum dalam daftar pustaka, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
- 2.) Apabila kemudian diketahui bahwa isi tugas akhir saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan segala kesadaran.

Malang, 8 Desember 2016

Yang menyatakan,



Hadiyani Afina Rafika

NIM. 125090700111026

REPOSITORY.UB.AC.ID

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

REPOSITORY UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENENTUAN PARAMETER SEISMOTEKTONIK *b-VALUE* DAERAH PATAHAN OPAK YOGYAKARTA BERDASARKAN DATA GEMPABUMI 2005-2016

REPOSITORY UNIVERSITAS BRAWIJAYA

ABSTRAK

Peningkatan seismisitas di daerah patahan Opak Yogyakarta dimulai sejak setelah peristiwa gempabumi berskala 5.90 *SR* pada 27 Mei 2006 pukul 05.54 WIB yang melanda Daerah Istimewa Yogyakarta dan sebagian Jawa Tengah. Melalui data historis gempabumi, pola seismisitas dari daerah patahan Opak telah diteliti untuk menentukan distribusi spasial dan temporal dari parameter seismotektonik *b-value*. Parameter seismotektonik *b-value* diperoleh melalui distribusi frekuensi-magnitudo menggunakan relasi Gutenberg-Richter. Secara temporal, *b-value* bernilai rendah yakni 0.55 sesaat sebelum gempa 5.90 *SR*, menunjukkan stress yang tinggi. *b-value* meningkat hingga senilai 1.10 pada awal 2007 menunjukkan penurunan stress. Setelah tahun 2007 hingga 2014, *b-value* relatif menurun mendekati nilai minimum, yakni 0.61, diduga kembali terjadi akumulasi *stress*. Distribusi spasial *b-value* dibagi menjadi kejadian gempa susulan 27 Mei 2006 dan gempa bukan susulan. Untuk kejadian gempa susulan, yang diperkirakan dari Mei hingga Juli 2006, *b-value* berada pada nilai yang rendah yaitu 0.65-0.66 menunjukkan adanya gempa utama dan diikuti deretan gempa susulan. Untuk kejadian bukan gempa susulan yang tercatat sejak Agustus 2006 hingga Januari 2016, *b-value* berkisar 0.95-1.01 mengindikasikan kondisi *stress* yang lebih rendah dimana banyak terjadi gempa berskala lebih kecil tanpa adanya gempa berskala besar yang menjadi gempa utama.

Kata kunci: *b-value*, magnitudo, patahan Opak, seismisitas

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Shalawat dan salam tercurahkan selalu kepada Rasulullah SAW. Berkat limpahan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul Penentuan Parameter Seismotektonik *b-value* Daerah Patahan Opak Yogyakarta Berdasarkan Data Gempabumi 2005-2016 dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi Geofisika dan memperoleh gelar sarjana sains di bidang Fisika.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak yang membantu terlaksananya serangkaian tugas akhir dari awal perencanaan hingga penyusunan skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada

- 1.) Ayah dan Ibu serta kakak dan adik tercinta yang tak henti memberikan doa, dukungan dan kasih sayang kepada penulis.
- 2.) Bapak Sukir Maryanto, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya dan Pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya.
- 3.) Bapak Ari Sungkowo, S.Si selaku Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan ilmunya selama penulis melaksanakan tugas akhir.
- 4.) Segenap karyawan BMKG Stasiun Geofisika Klas I Yogyakarta yang telah membantu dan mendukung penulis selama melaksanakan tugas akhir.
- 5.) Seluruh dosen Jurusan Fisika Uniyersitas Brawijaya atas ilmu yang diberikan selama ini.
- 6.) Seluruh karyawan Jurusan Fisika atas bantuan yang diberikan
- 7.) Teman-teman angkatan 2012 Geofisika Universitas Brawijaya yang selalu mendukung saya.
- 8.) Dan berbagai pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang diberikan dan dengan adanya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak.

Malang, 25 November 2016

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI iii

LEMBAR PERNYATAAN v

ABSTRAK vii

ABSTRACT ix

KATA PENGANTAR xi

DAFTAR ISI xiii

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR TABEL xvii

DAFTAR LAMPIRAN xix

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 3

1.3. Batasan Masalah 3

1.4. Tujuan Penelitian 3

1.5. Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1. Geologi Daerah Penelitian 5

2.2. Gempabumi 5

2.2.1. Bencana gempabumi 5

2.2.2. Penyebab gempabumi 7

2.2.3. Perekaman gempabumi 8

2.3. Seismotektonik 11

2.3.1. Parameter tektonik *B-Value* 11

2.4. Gelombang Seismik 11

2.4.1. Geombang badan 12

2.4.2. Gelombang permukaan 13

2.5. Seismisitas Daerah Patahan Opak 15

2.5.1. Sejarah gempabumi Yogyakarta 15

2.5.2. Aktivitas gempabumi daerah patahan Opak 15

BAB III METODOLOGI 17

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian 17



3.2. Bahan Dan Alat Penelitian 17

 3.2.1. Bahan penelitian 17

 3.2.2. Alat penelitian 17

3.3. Tahap Penelitian 17

 3.3.1. Pengambilan data 19

 3.3.2. Pengolahan data 19

 3.3.3. Analisis variasi temporal dan spasial *b-value* 21

 3.3.4. Interpretasi hasil 21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 23

4.1. Analisis Seismisitas Daerah Patahan Opak Dan Sekitarnya 23

 4.1.1. Histogram jumlah gempa bumi berdasarkan magnitudo 23

 4.1.2. Peta seismisitas 24

 4.1.3. Peta densitas gempa bumi 26

 4.1.4. Histogram jumlah gempa bumi dari tahun ke tahun 27

 4.1.5. *Time series* jumlah kumulatif gempa bumi 28

4.2. Analisis *b-value* 28

 4.2.1. Variasi *b-value* secara temporal 30

 4.2.2. Variasi *b-value* secara spasial 31

 4.2.3. Perhitungan relasi Gutenberg-Richter 37

BAB V PENUTUP 39

5.1. Kesimpulan 39

5.2. Saran 39

DAFTAR PUSTAKA 41

LAMPIRAN 44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Peta Geologi Daerah Patahan Opak.....	6
Gambar 2.2: Peristiwa <i>elastic rebound</i> yang menyebabkan gempa bumi (USGS, 2016).....	8
Gambar 2.3: Ilustrasi hiposenter dan episenter pada bidang patahan.....	9
Gambar 2.4: Ilustrasi arah gerak partikel gelombang seismik.....	13
Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.....	16
Gambar 3.2: Lokasi penelitian.....	17
Gambar 4.1: Histogram jumlah gempa bumi terhadap magnitudo.....	23
Gambar 4.2: Histogram magnitudo terhadap tahun.....	24
Gambar 4.3: Peta seismisitas daerah patahan Opak tahun 2006-2016.....	25
Gambar 4.4: Peta densitas gempa bumi lokasi penelitian.....	26
Gambar 4.5: Grafik jumlah gempa bumi patahan Opak.....	27
Gambar 4.6: <i>Time Series</i> gempa bumi 2005-2016 $M \geq 1$	29
Gambar 4.7: Variasi <i>b-value</i> dari tahun 2006 s.d. 2014.....	30
Gambar 4.8: (a) Sebaran episenter gempa bumi dan (b) kontur <i>b-value</i> lokasi penelitian periode Mei 2006 – Juli 2006.....	33
Gambar 4.9: (a) Sebaran episenter gempa bumi dan (b) kontur <i>b-value</i> lokasi penelitian periode Agustus 2006 – Maret 2016.....	34
Gambar 4.10: <i>b-value</i> periode Mei 2006 – Juli 2006.....	35
Gambar 4.11: <i>b-value</i> periode Agustus 2006 – Maret 2016.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Skala Intensitas Gempabumi.....10



DAFTAR LAMPIRAN

L.1. Tabel Data Gempabumi M_s2.5 SR Tahun 2005-2016.....43

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah Istimewa Yogyakarta terletak di pantai selatan Pulau Jawa yang berada di zona subduksi. Pada zona subduksi terjadi pergerakan antar-lempeng dimana lempeng Australia yang merupakan lempeng samudera dengan rapat jenis batuan yang lebih tinggi menunjam lempeng benua Eurasia yang berbatas di selatan Pulau Jawa. Lapisan kerak bumi yang tidak dapat menahan gaya akibat pergerakan lempeng akan mengalami deformasi. Deformasi pada batuan yang kehilangan sifat elastisitasnya akan menyebabkan terbentuknya patahan. Ketika lempeng bergerak, terjadi gesekan pada sisi-sisi bidang patahan. Tidak semua bagian pada sisi patahan mengalami gesekan yang mulus, melainkan ada bagian yang terkunci sehingga energinya tertumpuk. Bagian yang terkunci tersebut lambat-laun tidak dapat menahan tumpukan energi sehingga energi dilepaskan dalam bentuk gempa bumi. Patahan yang aktif bergerak menjadi lokasi dari sumber-sumber gempa bumi.

Gempabumi pada 27 Mei 2006 pukul 05.54 WIB atau 22:54 UTC (May 26th, 2006) di Yogyakarta merupakan salah satu gempa bumi besar yang pernah terjadi dalam sejarah gempa bumi di Indonesia. *U.S. Geological Survey* (USGS) menyatakan bahwa magnitudo gempa adalah $M_w 6.30$ (USGS Preliminary Earthquake Report, 2006). Sebanyak 750 gempa susulan telah dilaporkan dengan skala terbesar mencapai $M_w 5.80$. Gempabumi ini telah menelan korban jiwa mencapai 6000 jiwa, korban luka sebanyak kurang lebih 50.000 dan menghancurkan lebih dari 127.000 bangunan. Gempabumi yang tergolong pada gempa bumi dangkal ini dirasakan di Yogyakarta dengan intensitas VII-VIII MMI (*Modified Mercalli Intensity*). Menurut USGS, pusat gempa berada di timur patahan Sungai Opak.

Patahan Opak merupakan patahan yang sejajar dengan Sungai Opak dengan posisi memanjang ke timur laut dari Parang Tritis menuju Bantul dan ke arah utara menuju Klaten, Jawa Tengah. Gempa Yogya pada Mei



2006 merupakan awal dari aktivitas gempabumi di patahan Opak di mana sebelum peristiwa gempa besar tersebut hampir tidak ada catatan gempa di daerah sekitar patahan. Sejak peristiwa gempa 2006, banyak terjadi gempabumi dengan episenter di daerah patahan Opak dan sekitarnya dengan kedalaman yang relatif dangkal, yaitu ≤ 70 km. Setiap bulan dalam beberapa tahun setelah peristiwa gempa 2006, BMKG mencatat adanya ratusan gempa bersumber di sekitar patahan Opak.

Pencatatan seismik yang menyajikan informasi mengenai lokasi sumber gempa, waktu terjadinya gempa dan kekuatan gempa, dapat menjadi bahan untuk menganalisis pola seismisitas dari suatu lokasi. Parameter seismotektonik diperoleh melalui distribusi frekuensi-magnitudo menggunakan relasi Gutenberg-Richter. Parameter tektonik ditunjukkan oleh *b-value* atau nilai *b* yang menggambarkan kondisi *stress* dari medium seismik. Variasi parameter seismotektonik diamati secara spasial melalui peta kontur *b-value* dan secara temporal melalui perubahan *b-value* dari tahun ke tahun.

Penelitian mengenai parameter seismotektonik telah dilakukan oleh Rohadi (2009) untuk wilayah Indonesia dengan kriteria jumlah gempabumi $N=50$ dan *grid* pemetaan $0.10^\circ \times 0.10^\circ$. Marsyelina (2014) telah melakukan penelitian mengenai analisis seismisitas di jalur patahan Opak menggunakan parameter *b-value*. Pada penelitian ini parameter *b-value* dipetakan secara spasial berdasarkan data gempabumi 2006-2014. Pada penelitian skripsi yang dilakukan oleh penulis di daerah Patahan Opak, kriteria jumlah gempa adalah sebanyak $N=100$ dengan *grid* pemetaan $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ atau sekitar 1.10 km x 1.10 km. Pengaturan *grid* yang lebih kecil dan jumlah gempa yang lebih banyak diharapkan dapat merepresentasikan kondisi seismotektonik dari lingkup yang lebih spesifik. Variasi *b-value* diteliti secara temporal dan spasial dengan memisahkan antara periode gempa susulan dan bukan gempa susulan sehingga dapat diketahui hubungan antara kejadian gempabumi dengan kondisi tektonik dari patahan Opak.

Dengan dilakukannya penelitian mengenai parameter seismotektonik *b-value*, dapat diketahui variasi spasial dan temporal *b-value* di daerah

patahan Opak yang terletak di wilayah Yogyakarta. Informasi variasi parameter seismotektonik di lokasi yang aktif secara seismik dapat memberikan gambaran mengenai potensi gempa bumi wilayah Yogyakarta yang merupakan pusat pendidikan dan destinasi wisata. Informasi ini diharapkan dapat menunjang upaya mitigasi bencana dalam tahap prabencana. Bencana gempa bumi tidak dapat dihindari, namun dengan perkembangan ilmu pengetahuan, risiko yang ditimbulkan dari bencana dapat diperkecil.

1.2. Rumusan Masalah

- a.) Seperti apa seismisitas dari daerah patahan Opak dari tahun 2005-2016?
- b.) Seperti apa variasi spasial dan temporal *b-value* pada lokasi penelitian?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian mengenai parameter seismotektonik *b-value* di daerah patahan Opak dibatasi pada kurun waktu 2005 s.d. 2016 pada posisi $7^{\circ}40' - 8^{\circ}06'$ LS dan $110^{\circ}15' - 110^{\circ}30'$ BT.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian mengenai parameter seismotektonik *b-value* di daerah patahan Opak bertujuan untuk:

- 1.) Menentukan variasi temporal *b-value* lokasi penelitian.
- 2.) Menentukan variasi spasial *b-value* lokasi penelitian.

1.5. Manfaat Penelitian

- a.) Bagi Mahasiswa

Penelitian ini bermanfaat bagi mahasiswa dalam menganalisis pola seismisitas dan variasi parameter seismotektonik *b-value* untuk mempelajari hubungan antara aktivitas gempa bumi dengan kondisi tektonik pada daerah patahan.

- b.) Bagi Dosen

Sebagai pendidik dan katalisator dalam proses pendidikan di bangku universitas, dosen dapat mengukur sejauh mana kemampuan

mahasiswa dalam menerapkan ilmu yang telah dipelajari selama berada di bangku universitas.

c.) Bagi Universitas

Penelitian ini bermanfaat bagi universitas dalam mengembangkan penelitian yang menjadi tolok ukur dari keberhasilan sebuah institusi dalam menjalankan fungsi pendidikan.

d.) Bagi Masyarakat

Adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi gempabumi di lokasi penelitian berdasarkan informasi dari peristiwa-peristiwa gempabumi yang telah terjadi sehingga dapat dilakukan mitigasi bencana.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Daerah Penelitian

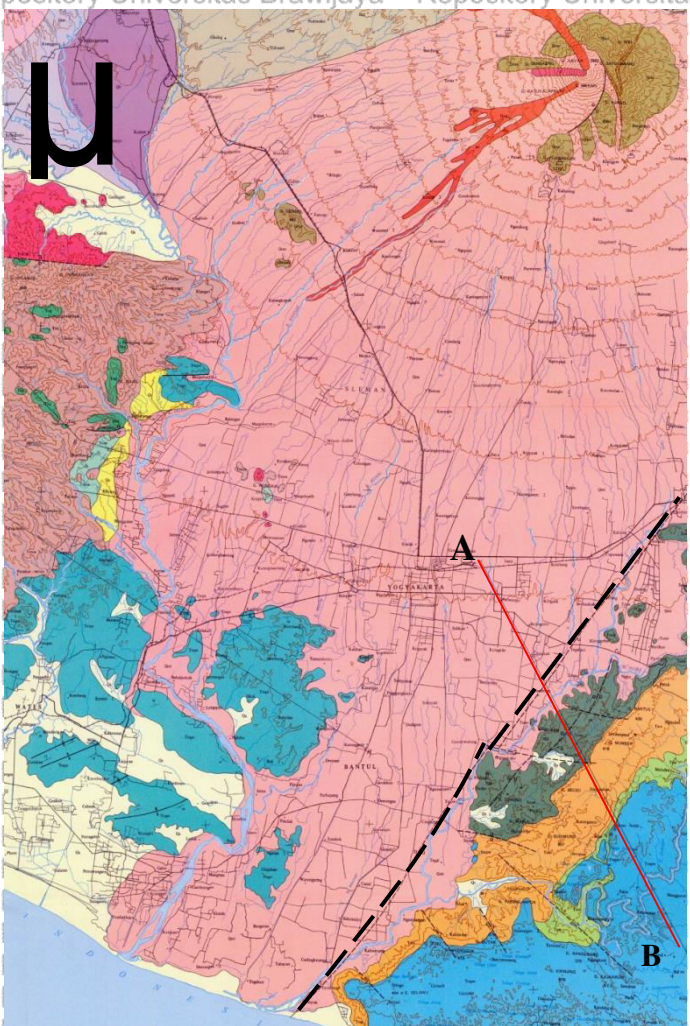
Daerah penelitian meliputi sebagian kawasan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan sebagian dari Kabupaten Klaten, Jawa Tengah yang dilalui oleh patahan Opak. Patahan yang diketahui keberadaannya oleh Untung dkk melalui penyelidikan gaya berat dan dikembangkan oleh Sudarno ini terletak di sepanjang Sungai Opak (Sudarno, 1997). Sungai Opak terbentang dari Prambanan ke arah barat daya dan bermuara di Parangtritis.

Morfologi daerah penelitian tergolong dalam tiga satuan, yakni satuan dataran di sisi barat Prambanan hingga muara sungai Opak, satuan perbukitan relief kuat sepanjang sebelah timur Sungai Opak dan dataran tinggi Wonosari. Satuan dataran di sisi barat Prambanan hingga muara Sungai Opak merupakan dataran rendah Yogyakarta yang tersusun atas endapan vulkanik Merapi Muda (Gambar 2.1). Endapan vulkanik Merapi Muda terdiri dari material hasil rombakan endapan Merapi Tua, berupa tuf, pasir, breksi dan breksi yang terkonsolidasi lemah. Satuan perbukitan berelief kuat yang membentang di sepanjang bagian timur Sungai Opak tersusun dari lapisan batuan sedimen. Dataran tinggi Wonosari di bagian timur sungai Opak memiliki lapisan batuan batugamping dan asosiasinya (Van Bemmelen, 1949).

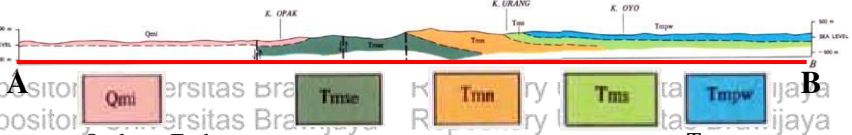
2.2. Gempabumi

2.2.1. Bencana gempabumi

Bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam dan/atau non-alam. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempabumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan dan tanah longsor (BNPB, 2008).



sesar (*fault*)



- Qml
 Qml = Endapan
vulkanik Gunung
- Tmse
 Tmse = Formasi
- Tmn
 Tmn = Formasi
- Tms
 Tms = Formasi
- Tmpw
 Tmpw = Formasi

Gemabumi adalah peristiwa ketika gubahan bergerak akibat adanya

Gambar 2. 1: Peta Geologi Daerah Patahan Opak

batuan pada kerak bumi (BMKG, 2014). Gempabumi sulit diprediksi dan banyak menimbulkan kerusakan materi hingga menelan korban jiwa (Suhardjono, 2007). Besar kecilnya bencana yang diakibatkan oleh gempa bumi ditentukan oleh dua faktor utama, yakni karakteristik gempa dan tingkat kesiapan dalam menghadapi bencana yang akan datang. Studi mengenai karakteristik gempabumi serta persiapan dalam menghadapi datangnya bencana dilakukan dalam upaya untuk mengurangi risiko yang diakibatkan oleh bencana. Mitigasi bencana dalam penyelenggaraannya meliputi 3 tahapan, yakni prabencana, tanggap darurat bencana dan pascabencana. Tahap prabencana dilakukan ketika tidak terjadi bencana dan terdapat potensi bencana. Tanggap darurat bencana adalah tahap yang dilakukan dalam situasi terjadi bencana. Tahap pascabencana adalah di saat setelah terjadi bencana (BNPB, 2008). Studi karakteristik gempabumi dapat dilakukan melalui analisis pola seismisitas yang meliputi: kekuatan gempabumi atau disebut dengan magnitudo gempa, lokasi sumber gempa, mekanisme patahan dan frekuensi kejadian gempabumi (Munir, 2003). Melalui studi seismisitas, dapat diketahui aktivitas gempabumi dari lokasi yang ditinjau sehingga dapat dilakukan perencanaan dan persiapan terhadap risiko yang akan dihadapi berdasarkan kondisi setempat.

2.2.2. Penyebab gempabumi

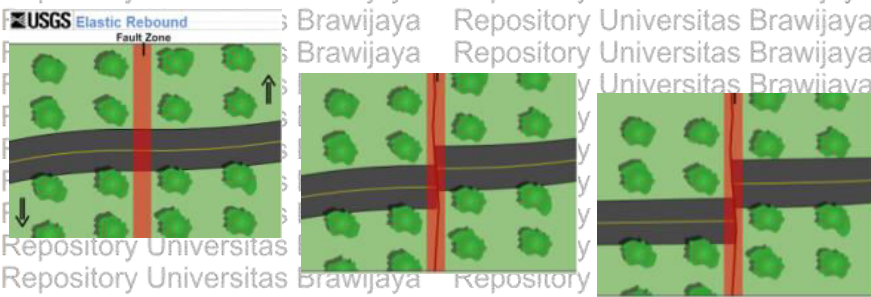
Gempabumi terjadi ketika energi yang tersimpan pada batuan yang meregang secara elastis dilepaskan secara tiba-tiba (Nelson, 2015). Di dalam bumi, batuan secara konstan dikenai gaya yang cenderung melakukan pelengkungan dan pematahan. Ketika batuan melengkung, melintir atau patah, maka batuan disebut mengalami deformasi. *Strain* atau regangan merupakan perubahan pada bentuk, ukuran atau volume. Gaya yang menyebabkan deformasi disebut sebagai *stress* atau tegangan. *Stress* merupakan gaya per satuan luas yang mengenai suatu bidang pada benda (USGS, 2016).

Reid (1910) menyatakan bahwa gaya yang menyebabkan gempabumi adalah tidak dekat dengan sumber gempabumi melainkan sangat jauh. Ide Reid adalah bahwa gaya yang jauh menyebabkan pengumpulan *stress* secara bertahap pada bumi dalam puluhan atau ratusan

fahun, secara perlahan mendistorsi bumi di bawah kaki kita. Pada akhirnya, kelemahan yang sudah ada di dalam bumi, yang disebut patahan atau zona patahan, tidak dapat menahan regangan dan terpatahkan. Peristiwa perpatahan diibaratkan seperti menarik karet penghapus secara bertahap hingga karet terpelenting. Teori ini dikenal sebagai “*elastic rebound theory*”. Secara ilustratif, teori *elastic rebound* ditunjukkan oleh Gambar 2.2.

2.2.3. Perekaman gempabumi

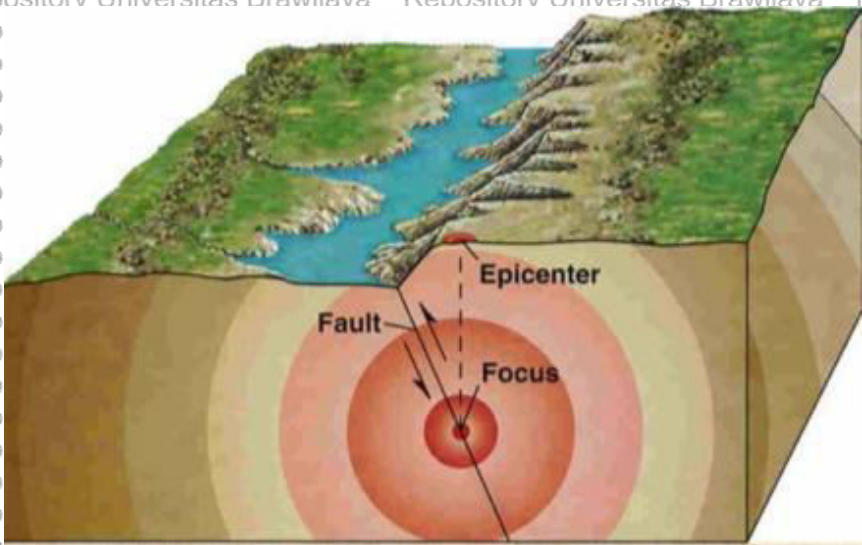
Gelombang seismik yang dihasilkan oleh gempabumi direkam oleh alat yang disebut dengan seismograf. Seismograf merekam jejak *zig-zag* yang menunjukkan perubahan amplitudo dari osilasi tanah di bawah alat. Seismograf sensitif, yang memperbesar pergerakan tanah, dapat mendeteksi gempabumi kuat dari sumber-sumber di seluruh dunia. Waktu, lokasi dan magnitudo dapat ditentukan dari sinyal yang dicatat oleh seismograf. Sistem seismograf modern secara presisi memperkuat dan merekam pergerakan tanah (umumnya pada periode antara 0.01 dan 100 detik) sebagai fungsi waktu. Amplifikasi dan perekaman sebagai fungsi waktu ini adalah sumber dari amplitudo instrumental dan data waktu tiba pada gempa lokal dan jauh (Spence et al., 1989).



Gambar 2. 2: Peristiwa *elastic rebound* yang menyebabkan gempabumi (USGS, 2016)

Lokasi gempa yang ditentukan berdasarkan hasil rekaman seismograf meliputi hiposenter dan episenter. Hiposenter adalah titik pada bumi di mana pergeseran gempa dimulai (USGS, 2006). Sedangkan episenter merupakan titik pada permukaan bumi tegak lurus dengan

hiposenter. Ilustrasi hiposenter dan episenter dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3: Ilustrasi hiposenter dan episenter pada bidang patahan

Magnitudo atau kekuatan gempa bumi diukur dalam skala Richter. Pada skala logaritmik, magnitudo menunjukkan ukuran dan energi yang dilepaskan dari gempa bumi. Pada skala ini, biasanya banyak terjadi gempa bumi setiap hari, dengan magnitudo ≤ 2.50 SR yang umumnya tidak dirasakan oleh manusia. Magnitudo dan intensitas mengukur karakteristik yang berbeda dari gempa bumi. Magnitudo mengukur energi yang dilepaskan pada sumber gempa bumi. Magnitudo ditentukan oleh pengukuran dari seismograf. Intensitas mengukur kekuatan guncangan yang dihasilkan oleh gempa bumi pada lokasi tertentu. Intensitas ditentukan dari efek pada orang, struktur bangunan dan lingkungan alam (USGS, 2016). Skala intensitas gempa bumi ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Skala Intensitas Gempabumi

Skala MMI	Deskripsi	Magnitudo (SR)
I	Tidak dapat dirasakan oleh manusia, hanya dapat dideteksi oleh alat.	1-2
II	Dapat dirasakan oleh beberapa orang. Benda yang tergantung dapat bergerak.	2-3
III	Dirasakan lebih keras. Kendaraan atau benda yang berhenti dapat bergerak.	3-4
IV	Dirasakan lebih keras baik di dalam atau di luar bangunan. Jendela dan pintu mulai bergetar.	4
V	Dirasakan lebih banyak orang. Benda yang digantung mulai berjatuh, jendela kaca pecah.	4-5
VI	Dirasakan banyak orang. Orang mulai ketakutan. Kerusakan mulai nampak.	5-6
VII	Orang-orang mulai berlari keluar. Kendaraan yang bergerak mulai merasakan guncangan.	6
VIII	Bangunan lunak mulai runtuh dan membahayakan orang.	6-7
IX	Kerusakan yang berarti mulai nampak dan menimbulkan kepanikan.	7
X	Kepanikan semakin hebat, hanya gedung-gedung kokoh yang dapat bertahan. Terjadi longsor dan rekahan	7-8
XI	Hampir semua bangunan runtuh. Jembatan mengalami kerusakan. Retakan yang lebar terbentuk pada tanah.	8
XII	Kerusakan total. Gelombang terlihat di permukaan tanah. Benda-benda terlempar ke udara.	>8



2.3. Seismotektonik

Seismologi telah memiliki peran utama dalam mengembangkan konsep tektonik lempeng, dan hubungan antara kejadian gempa bumi dan proses tektonik yang disebut sebagai seismotektonik (Lay and Wallace, 1995). Melalui studi seismotektonik, dapat diidentifikasi patahan mana yang bertanggung jawab atas aktivitas seismik suatu wilayah. Analisis dilakukan berdasarkan kombinasi tektonik regional, peristiwa terbaru yang tercatat, sejarah gempa bumi dan bukti geomorfologi.

2.3.1. Parameter seismotektonik *b-value*

Parameter *b* atau *b-value* biasanya mendekati 1 pada daerah yang aktif secara seismik. Terdapat beberapa variasi *b-value* pada rentang 0.50 s.d. 2 bergantung pada lingkungan sumber (Bhattacharya et al, 2010). Konstanta *b* memenuhi persamaan relasi Gutenberg & Richter (1954) yang diperoleh dari distribusi frekuensi-magnitudo gempa bumi di berbagai wilayah di bumi. Relasi Rutenberg-Richter ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$\log N = a - bM \tag{2.1}$$

- N* = kumulatif gempa bumi dengan magnitudo $\geq M$,
- a* = aktivitas seismik atau produktivitas gempa bumi,
- b* = parameter seismotektonik,
- M* = magnitudo gempa bumi.

Pada daerah yang aktif secara seismik, *b* mendekati 1 (Richter, 1958). Nilai *b* adalah gradien dari distribusi frekuensi-magnitudo Gutenberg-Richter, di mana *b* yang lebih tinggi menunjukkan proporsi yang lebih besar dari gempa bumi berskala kecil dan *b* yang lebih rendah mengindikasikan proporsi yang lebih kecil dari gempa bumi kecil (Crampin & Gao, 2015).

2.4. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui medium yang elastis. Terdapat dua jenis gelombang seismik, yakni gelombang badan (*body waves*) dan gelombang permukaan (*surface*



waves). *Body waves* merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi, sedangkan *surface waves* menjalar di permukaan bumi (Stein, 2003).

2.4.1. Gelombang badan

Gelombang badan atau *body waves* merambat lebih cepat pada batuan elastis, sehingga kecepatannya meningkat ketika merambat semakin dalam ke zona yang lebih elastis dari interior bumi dan berkurang ketika melakukan pendakian ke permukaan bumi.

a.) Gelombang P

Gelombang *P* merupakan yang tercepat dari ketiga jenis gelombang, sehingga tiba pertama kali pada stasiun seismograf. Gelombang *P* biasanya merambat melalui kerak bumi pada kecepatan 6 km/s, bahkan lebih cepat pada mantel teratas, yaitu 8 km/s. Pulsa energi pada gelombang *P* adalah sukseksi dari kompresi dan ekspansi yang bergerak pada arah perambatan energi. Dengan kata lain, gelombang *P* memiliki gerakan “tarik-dorong” seperti akordion (Gambar 2.4b). Gelombang *P* dapat merambat pada medium padat, cair dan gas.

Kecepatan gelombang tergantung pada sifat elastis dan kerapatan dari suatu material. Kecepatan gelombang *P* ditunjukkan sebagai berikut (Ammon, 2011):

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \tag{2.2}$$

- v_p = kecepatan gelombang *P*,
- k = modulus *bulk* material,
- μ = modulus geser (*shear-modulus*),
- ρ = kerapatan (*density*).

b.) Gelombang S

Gelombang *S* biasanya merambat pada kecepatan 3,5 km/s pada kerak dan 5 km/s pada mantel atas. Tidak seperti gerakan pada gelombang *P*, segmen batuan pada gelombang *S* bergetar pada arah menyamping terhadap arah rambat energi (Gambar 2.4c). Tidak

seperti gelombang P , gelombang S tidak dapat merambat pada medium cair dan gas.

Kecepatan gelombang S dipengaruhi oleh μ dan ρ . Gelombang S tidak mampu menjalar di fluida karena fluida tidak dapat menransmisi tegangan geser (*shear stress*), sehingga persamaan

kecepatannya adalah

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.3)$$

v_s = kecepatan gelombang S

2.4.2. Gelombang permukaan

Gelombang permukaan umumnya tercatat waktu kedatangannya yang terkuat pada jarak teleseismik dan mereka menyediakan beberapa konstrain terbaik untuk struktur dangkal bumi dan sifat sumber frekuensi rendah. Gelombang permukaan berbeda dari gelombang badan dalam banyak hal. Gelombang permukaan menjalar lebih lambat, penurunan amplitudo dengan kisaran umumnya jauh lebih sedikit, dan kecepatan mereka sangat bergantung pada frekuensi. Gelombang permukaan dari gempa bumi besar diamati selama berjam-jam, selama mereka mengelilingi bumi beberapa kali (Shearer, 2010).

a.) Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang permukaan yang menyebabkan tanah bergetar dalam gerakan elips, tanpa melintang, atau tegak lurus. Gelombang badan yang mengarah ke atas dan bawah tidak menjumlah secara konstruktif untuk menghasilkan gelombang permukaan, melainkan solusi yang mungkin bagi gelombang nonhomogen terjebak pada antarmuka; gelombang permukaan yang dihasilkan ini disebut gelombang *Rayleigh* (Gambar 2.4d).

$$v_R = 0,92v_s \quad (2.4)$$

v_R = kecepatan gelombang *Rayleigh*

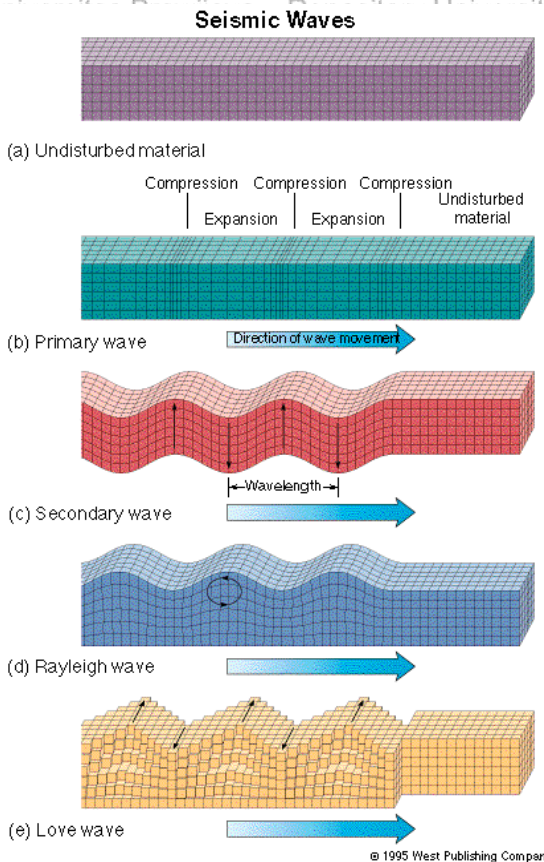
b.) Gelombang *Love*

Gelombang *Love* adalah gelombang permukaan yang memiliki gerakan horizontal yang melintang (atau tegak lurus) arah rambat gelombang. Gelombang *Love* terbentuk melalui interferensi

konstruktif dari permukaan majemuk gelombang SH (gelombang S dengan arah gerak partikel secara horizontal) orde tinggi, yaitu SSS , $SSSS$, $sssss$, dll. Total refleksi dari gelombang SH pada permukaan bebas bercampur dengan perlapisan internal dari Bumi untuk menjebak gempa SH dekat permukaan, dimana mengalami interferensi untuk menghasilkan penjalaran horizontal gelombang $Love$ (Gambar 2.4e) (Lay and Wallace, 1995).

$$v_S > v_L > v_R \quad (2.5)$$

v_L = kecepatan gelombang $Love$



Gambar 2. 4: Ilustrasi arah gerak partikel gelombang seismik

2.5. Seismisitas Daerah Patahan Opak

2.5.1. Sejarah gempabumi Yogyakarta

Berdasarkan data historis gempabumi, daerah Yogyakarta telah mengalami empat gempabumi besar dengan kekuatan mencapai $M_w 8$ (PVMBG, tanpa tahun). Gempabumi pada 10 Juni 1867 dengan kekuatan $M_w 8$ telah meruntuhkan bangunan Tamansari, merobohkan Gedung Agung dan Benteng Vredeburg serta menghancurkan Tugu Yoga. 70 tahun berikutnya, pada 23 September 1937, gempa berkekuatan 7 mengguncang Yogyakarta dan Klaten dengan pusat gempa terletak di 8.7 LS – 110.8 BT. Gempa dengan kekuatan VIII-IX MMI mengguncang pada 23 Juli 1943 menewaskan 213 orang dan merobohkan ribuan rumah. Gempa juga pernah terjadi pada tahun 1981 dengan kekuatan 5.6 yang menyebabkan keretakan pada bangunan dan diantaranya termasuk Hotel Ambarukmo.

2.5.2. Aktivitas gempabumi daerah patahan Opak

Aktivitas gempabumi di Indonesia berdasarkan sejarah kekuatan sumbernya dibagi dalam 6 daerah oleh BMKG, yakni:

- a.) Daerah sangat aktif, magnitudo lebih dari 8 mungkin terjadi di daerah Halmahera dan pantai utara Papua.
- b.) Daerah aktif, magnitudo 8 mungkin terjadi dan magnitudo 7 sering terjadi di lepas pantai barat Sumatera, pantai selatan Jawa, Nusa Tenggara dan Banda.
- c.) Daerah lipatan dan retakan, magnitudo kurang dari 7 mungkin terjadi di pantai barat Sumatera, Kepulauan Sula dan Sulawesi Tengah.
- d.) Daerah lipatan dengan atau tanpa retakan, magnitudo kurang dari 7 bisa terjadi di Sumatera, Jawa bagian utara dan Kalimantan bagian timur.
- e.) Daerah gempa kecil, magnitudo kurang dari 5 terjadi di daerah pantai timur Sumatera dan Kalimantan Tengah.
- f.) Daerah stabil, tak ada catatan sejarah gempabumi, yaitu di daerah pantai selatan Papua dan Kalimantan bagian barat.

Apabila digolongkan ke dalam klasifikasi di atas, maka patahan Opak termasuk dalam kategori daerah lipatan atau retakan dan daerah aktif



BAB III METODOLOGI

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada 2 Mei 2016 s.d 3 Juni 2016 di Stasiun Geofisika Klas I Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jl. Wates Km. 8 Jitengan, Balekatun, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

Pada penelitian ini, bahan digunakan adalah data sekunder serta peralatan yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak.

3.2.1. Bahan penelitian

Bahan yang digunakan penulis pada penelitian ini merupakan data sekunder yang berupa data gempa bumi periode 2005 s.d 2016 meliputi lokasi penelitian daerah patahan Sungai Opak dan sekitarnya pada posisi geografis 7°40' - 8°06' LS dan 110°15' - 110°30' BT. Data gempa bumi diperoleh dari BMKG Stasiun Geofisika Klas I Yogyakarta.

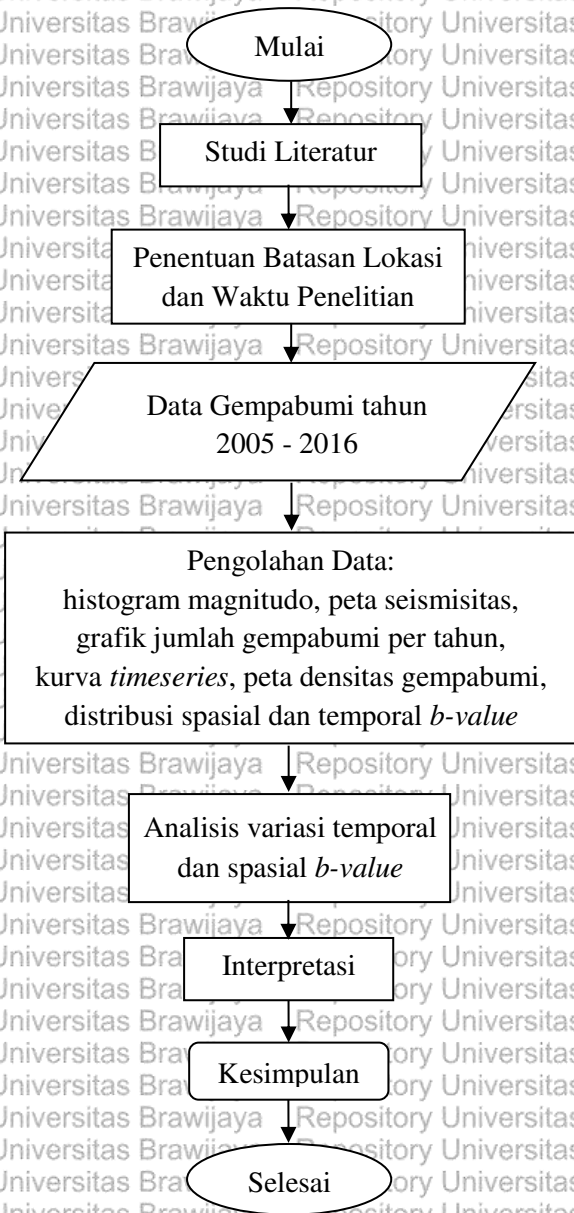
3.2.2. Alat penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi:

- 1.) Perangkat keras berupa PC dengan *operating system* Windows 7 dan
- 2.) Perangkat lunak meliputi *Microsoft Excel*, *ArcGIS 9.3*, *MATLAB* dan *ZMap*.

3.3. Tahap Penelitian

Langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1: Diagram alir penelitian

3.3.1. Pengambilan data

Data gempabumi yang digunakan meliputi daerah penelitian terhitung sejak tahun 2005 s.d 2016. Data gempabumi yang digunakan diperoleh dari *WGSN Single Station* yang mencatat gempabumi yang terjadi pada tahun 2005 s.d. 2016 pada posisi $7^{\circ}40' - 8^{\circ}06' \text{ LS}$ dan $110^{\circ}15' - 110^{\circ}30' \text{ BT}$. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2: Lokasi penelitian ditunjukkan oleh area di dalam kotak merah

3.3.2. Pengolahan data

Pada proses pengolahan data digunakan beberapa program untuk beberapa pengolahan data. Berikut merupakan langkah pengolahan data beserta program yang digunakan.

a.) peta seismisitas menggunakan ArcGIS 9.3

Berdasarkan data gempabumi yang telah diperoleh, dibuat peta seismisitas yang menunjukkan sebaran titik-titik episenter gempabumi menggunakan program *ArcGIS 9.3*. Data gempabumi yang meliputi posisi bujur, lintang, kedalaman dan magnitudo di-plot pada peta lokasi penelitian sehingga dapat diamati distribusi dari episenter gempabumi yang terjadi selama 2005-2016 di lokasi penelitian. Titik-titik episenter yang tergambar pada peta dibedakan dalam tiga kategori

berdasarkan magnitudo. Magnitudo terkecil hingga terbesar disimbolkan dengan lingkaran yang berukuran kecil, sedang hingga besar.

b.) histogram jumlah gempa bumi menggunakan *Microsoft Excel*.

Histogram jumlah gempa bumi menunjukkan jumlah gempa bumi yang terjadi setiap tahun dari 2005 s.d 2016. Histogram jumlah gempa bumi dibuat menggunakan *Microsoft Excel*. Jumlah gempa bumi dalam setiap tahun di-plot pada grafik batang.

c.) pengolahan data menggunakan *ZMap*

Pengolahan data untuk menganalisis pola seismisitas disediakan oleh program *ZMap* yang dioperasikan melalui *MATLAB*. Pada program ini dapat dibuat histogram jumlah gempa berdasarkan kedalaman dan magnitudo. Data gempa bumi dimasukkan dalam format *ascii* yang berisi bujur, lintang, tahun, bulan, tanggal, magnitudo, kedalaman, jam dan menit dengan ekstensi *.dat*. Selanjutnya dapat diperoleh pula kurva *time series* yang menunjukkan jumlah kumulatif gempa bumi dari tahun ke tahun.

Penentuan parameter seismotektonik *b-value* dan *a-value* dilakukan dengan metode *Frequency-Magnitude Distribution (FMD)* menggunakan program *ZMap*. Solusi *FMD* berupa kurva jumlah kumulatif gempa bumi terhadap magnitudo. Variasi nilai *b* dipetakan secara spasial dan temporal. Secara spasial *b-value* ditunjukkan dalam peta kontur, sedangkan secara temporal *b-value* ditunjukkan dalam kurva *b-value* dari tahun ke tahun. *b-value* yang diperoleh kemudian digunakan dalam relasi Gutenberg-Richter untuk menghitung probabilitas jumlah gempa dengan magnitudo tertentu yang terjadi dalam satu tahun. Perhitungan dilakukan dengan persamaan Gutenberg-Richter (2,1).

Melalui *ZMap* dibuat pula peta kerapatan jumlah gempa bumi yang menunjukkan kerapatan jumlah gempa bumi per 1 km² area. Peta kerapatan jumlah gempa bumi ditunjukkan oleh peta kontur yang merepresentasikan kerapatan gempa bumi melalui skala warna.

3.3.3. Analisis variasi temporal dan spasial *b-value*

Analisis variasi *b-value* secara temporal dilakukan terhadap kurva perubahan *b-value* dari tahun ke tahun dan secara spasial dilakukan terhadap peta kontur *b-value*. Analisis variasi temporal dilakukan dengan menjelaskan sebab *b-value* memiliki nilai yang rendah atau tinggi pada rangkaian jendela waktu yang berjarak satu tahun dari tahun 2006 s.d. 2014 dengan jumlah *sampling* data sebanyak 100 dan *grid* $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$. Perubahan *b-value* yang terjadi dalam dimensi waktu dikaitkan dengan tinggi atau rendahnya kondisi *stress* tanpa memperhatikan posisi karena perubahan *b-value* dianggap berlaku untuk keseluruhan lokasi penelitian. Analisis variasi spasial dilakukan dengan mengamati peta kontur *b-value* dari lokasi penelitian sehingga dapat diteliti pengaruh posisi terhadap besarnya *b-value* yang ditunjukkan oleh skala warna.

3.3.4. Interpretasi hasil

Berdasarkan analisis variasi *b-value* secara temporal dan spasial dapat dilakukan interpretasi hasil. *Stress* yang tinggi pada suatu waktu diinterpretasikan sebagai indikator terjadinya gempa yang cukup besar. Gempa yang cukup besar untuk dikatakan sebagai gempa utama selalu diikuti oleh deretan gempa susulan. Ketika *stress* rendah, diinterpretasikan bahwa pada waktu tersebut lebih banyak terjadi gempa berskala kecil tanpa adanya gempa yang cukup besar untuk disebut sebagai gempa utama. Lokasi dengan *b-value* rendah diinterpretasi sebagai daerah dengan material medium yang lebih mampu menahan *stress* sehingga berpotensi gempa berskala lebih besar.

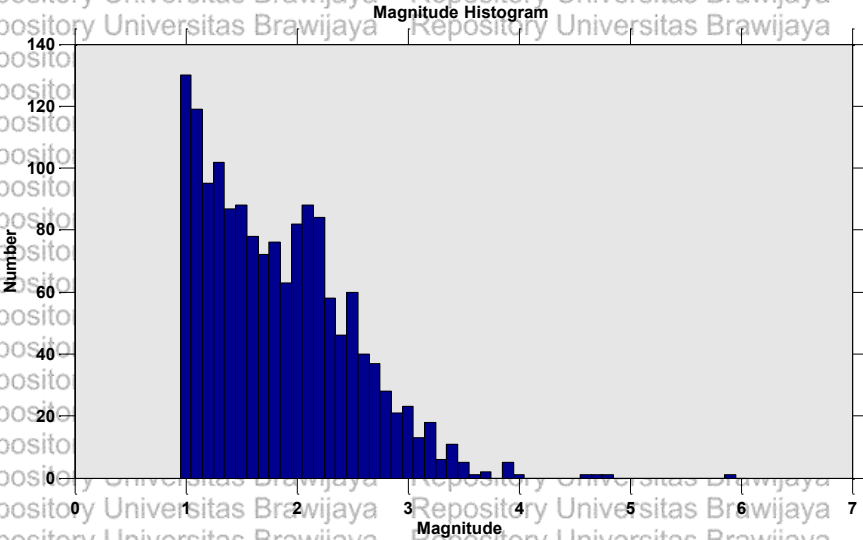


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

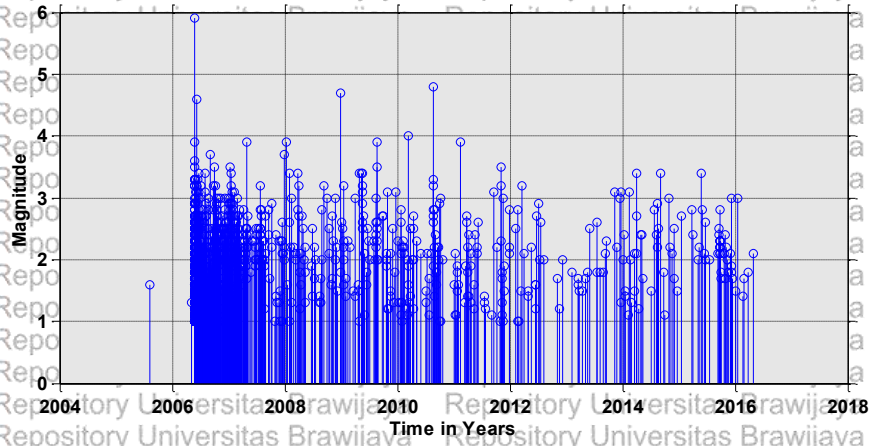
4.1. Seismisitas Daerah Patahan Opak dan Sekitarnya

4.1.1. Histogram jumlah gempabumi berdasarkan magnitudo

Jumlah gempabumi pada tahun 2005-2016 berdasarkan besarnya magnitudo ditunjukkan oleh histogram pada Gambar 4.1. Magnitudo gempa yang terjadi memiliki rata-rata sebesar 1.80 SR. Gempabumi dengan magnitudo terbesar, yakni 5.90 SR terjadi sebanyak satu gempa yaitu pada 27 Mei 2006. Terdapat beberapa gempabumi dengan magnitudo >4 SR, yakni sebesar 4.6 SR pada 8 Juni 2006, 4.70 SR pada 31 Desember 2008 dan 4.80 SR pada 21 Agustus 2010. Semakin besar magnitudo, jumlah gempa relatif berkurang. Besarnya magnitudo gempa yang terjadi tahun 2005-2016 dapat diamati pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1: Histogram Jumlah Gempabumi terhadap Magnitudo



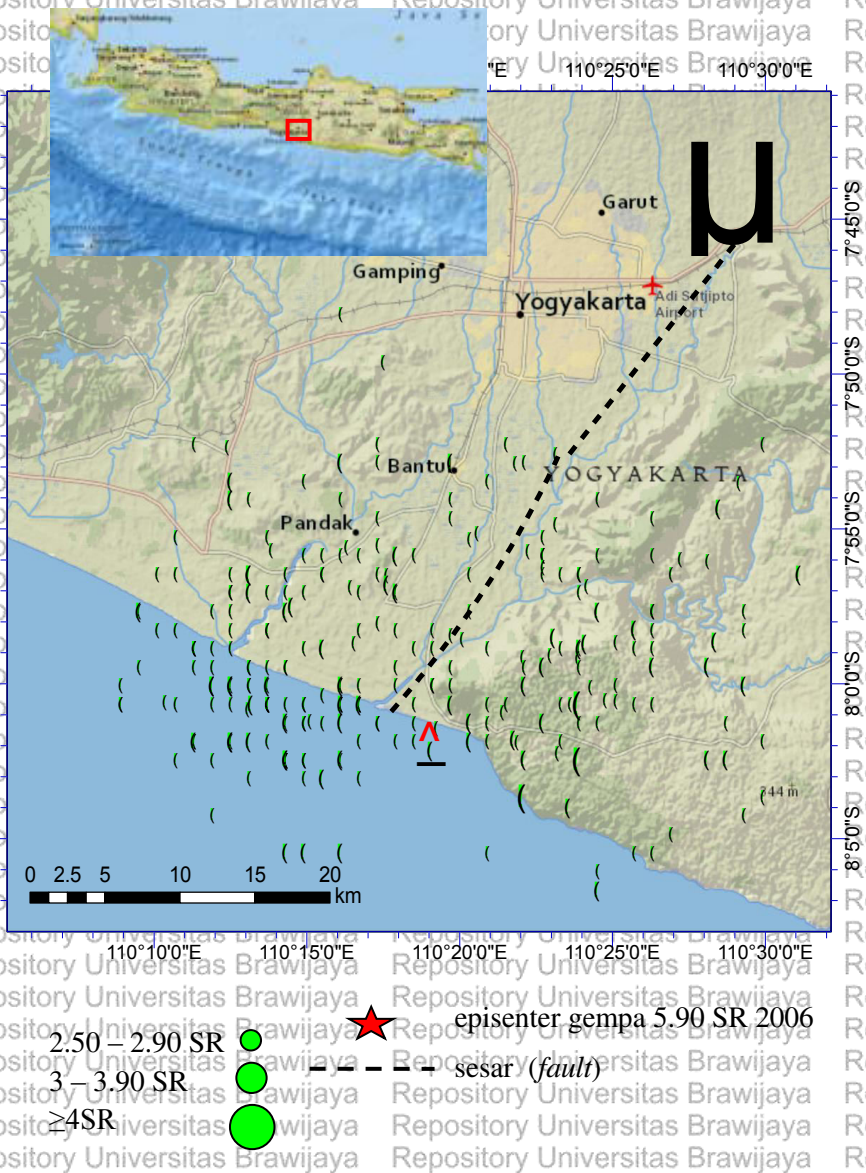
Gambar 4. 2: Histogram magnitudo terhadap tahun

4.1.2. Peta seismisitas

Sebaran episenter gempa bumi 2005-2016 $M \geq 2.50$ SR di daerah patahan Opak dapat diamati melalui peta seismisitas pada Gambar 4.3. Titik-titik episenter gempa bumi disimbolkan dalam ukuran berbeda berdasarkan besarnya magnitudo. Gempa didominasi oleh gempa $2.50 \geq M \geq 3$ SR yang tersebar di sebagian besar dari lokasi penelitian.

Titik-titik episenter gempa bumi cenderung tersebar di bagian selatan lokasi penelitian yang dilalui oleh segmen selatan dari jalur patahan Opak. Gempabumi dengan magnitudo lebih besar relatif tersebar di lokasi yang jauh dari jalur patahan. Gempabumi tidak banyak berpusat di jalur patahan melainkan di luar jalur. Hal ini memberikan asumsi mengenai hiposenter yang terletak pada bidang patahan yang tidak tegak lurus dengan permukaan, sehingga episenter terletak jauh dari jalur patahan.

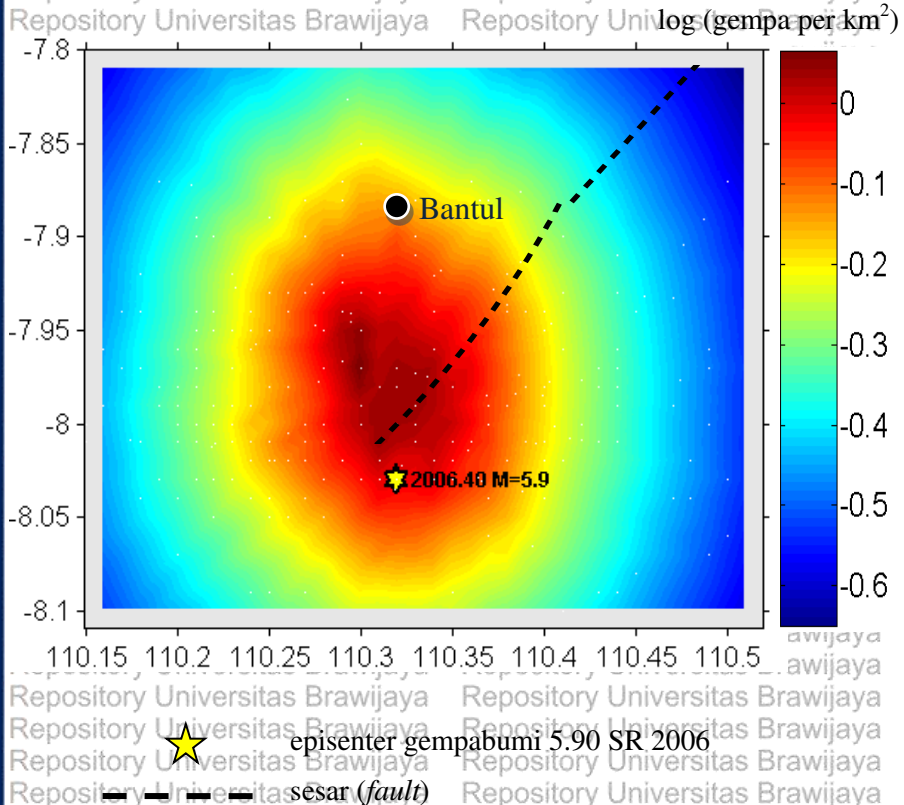
Letak episenter di luar jalur patahan Opak diduga pula disebabkan oleh gempa yang bersumber dari patahan-patahan minor. Patahan-patahan minor dapat terbentuk pada lapisan batuan akibat peristiwa gempabumi seperti yang dijelaskan pada teori "*elastic rebound*".



Gambar 4. 3: Peta Seismisitas Daerah Patahan Opak Tahun 2005-2016

4.1.3. Peta kerapatan jumlah gempabumi

Ketika jumlah gempa cukup banyak pada area yang sempit, pengamatan melalui peta seismisitas saja dirasa kurang cukup jelas. Untuk mengetahui sebaran jumlah gempa dari lokasi penelitian, dapat diamati melalui peta kerapatan jumlah gempabumi. Peta kerapatan jumlah gempabumi menunjukkan kerapatan jumlah gempabumi km^2 . Skala warna menunjukkan logaritma dari jumlah gempa per km^2 sehingga jumlah gempa per km^2 merupakan 10 pangkat nilai yang ditunjukkan oleh skala warna. Gambar 4.4 menunjukkan peta kerapatan jumlah gempabumi dari lokasi penelitian.

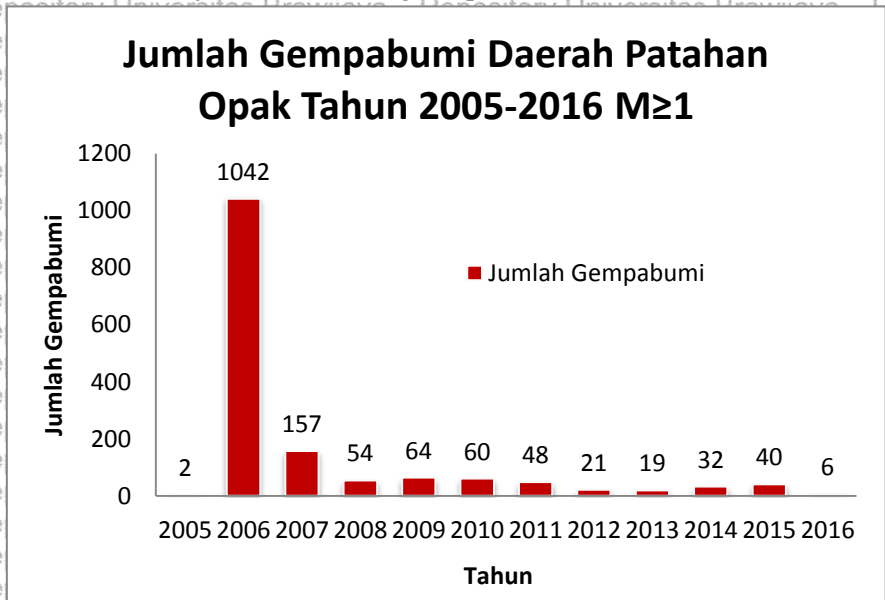


Gambar 4. 4: Peta Kerapatan Jumlah Gempabumi $M \geq 1.00$ SR

Area yang tertutup oleh warna merah atau memiliki kerapatan jumlah gempa yang tinggi terletak di wilayah kabupaten Bantul yang merupakan daerah cekungan Yogyakarta di sebelah barat jalur patahan Opak. Pada wilayah dengan warna yang menunjuk ke angka 0 pada skala, rata-rata gempabumi yang terjadi tiap km^2 area adalah 10 pangkat 0 atau 1 gempa tiap 1 km^2 area. Pada jalur patahan Opak, segmen selatan tertutup oleh warna merah sedangkan segmen utara tertutup oleh warna biru. Lebih tingginya kerapatan jumlah gempabumi di segmen selatan jalur patahan Opak menunjukkan lebih banyaknya energi yang dilepaskan melalui gempabumi dibandingkan di bagian utara jalur patahan yang lebih sedikit terjadi gempabumi.

4.1.4. Histogram jumlah gempabumi dari tahun ke tahun

Jumlah gempabumi yang terjadi setiap tahun dalam kurun waktu 2005-2016 ditunjukkan oleh histogram pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5: Grafik Jumlah Gempabumi Daerah Patahan Opak Tahun 2005-2016

Jumlah gempa terbanyak terjadi pada tahun 2006 yaitu setelah peristiwa gempabumi 27 Mei 2006. Jumlah yang sangat tinggi dibanding tahun-tahun setelahnya merupakan pengaruh dari adanya deretan gempa susulan yang terjadi setelah gempa utama. Adanya deretan gempa susulan yang terjadi terus-menerus dengan magnitudo lebih kecil dari gempa utama merupakan upaya dari lempeng tektonik untuk mencapai kondisi stabil setelah melepaskan energi yang besar dalam waktu tiba-tiba. Pelepasan energi pada gempa utama tidak terjadi sepenuhnya sehingga terdapat sisa-sisa energi yang dilepaskan dalam bentuk gempa-gempa susulan.

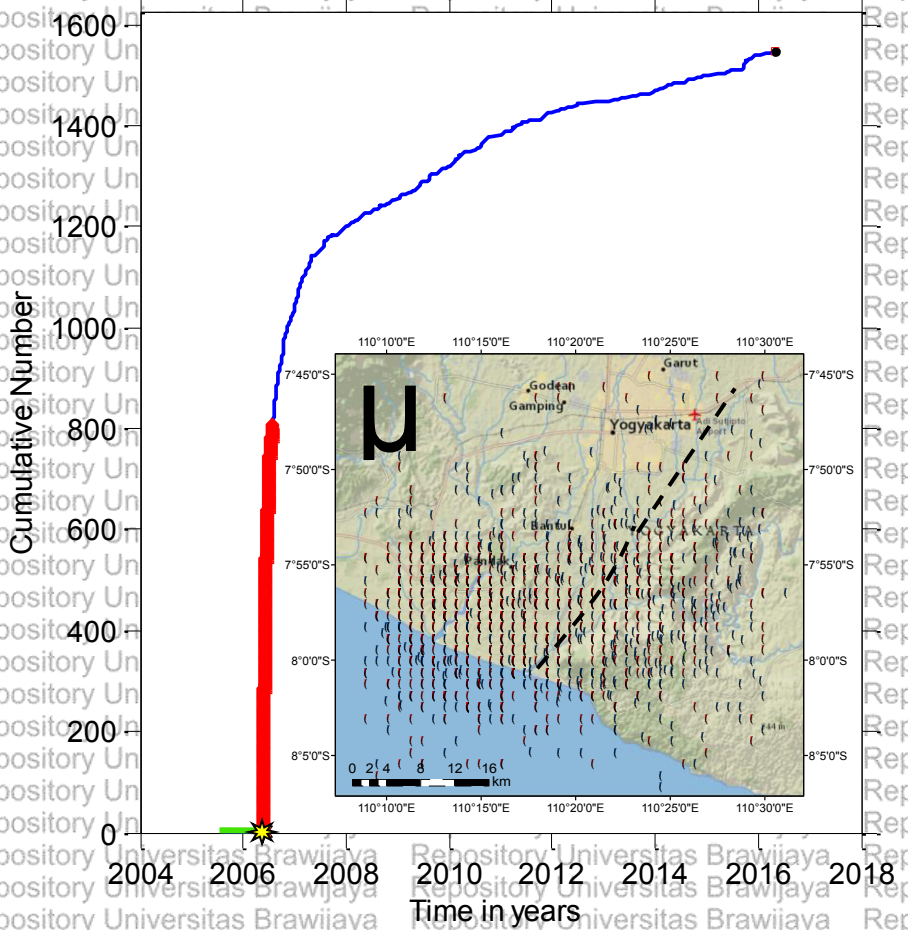
4.1.5. *Time series* seismisitas daerah patahan Opak

Jumlah kumulatif gempabumi $M \geq 1.0SR$ yang terjadi dari waktu ke waktu ditunjukkan oleh kurva *time series* seismisitas daerah patahan Opak pada Gambar 4.6. Kurva berwarna hijau menunjukkan jumlah yang terjadi pada tahun 2005 hingga sebelum terjadi gempa 5.90SR pada tahun 2006, yaitu sebanyak 2 gempa. Kurva berwarna merah menunjukkan jumlah gempa pada Mei 2006 s.d. Juli 2006, yaitu sebanyak 808 gempa. Kurva yang semakin curam karena jumlah gempa yang banyak dan dalam jangka waktu yang pendek disebabkan oleh deretan gempa susulan dari gempa 5.90SR. Berikutnya, pada Agustus 2006 s.d. Maret 2016, yang ditunjukkan oleh kurva berwarna biru, kurva relatif lebih landai karena jumlah gempa yang berkurang dan dalam jangka waktu yang lebih panjang, yaitu sebanyak 735 gempa.

4.2. Analisis *b-value*

Jumlah, kedalaman dan magnitudo gempabumi yang tercatat pada data gempabumi digunakan untuk menentukan kondisi tektonik dari lokasi yang ditinjau. Kondisi *stress* dari medium dapat diidentifikasi melalui analisis parameter seismotektonik yaitu *b-value* atau nilai *b*.

Menurut Gutenberg dan Richter (1956), *b-value* bervariasi antara 0.45-1.50. *b-value* yang rendah mengindikasikan kondisi *stress* yang tinggi. *Stress* yang tinggi menyebabkan regangan atau *strain* yang besar pada batuan yang mudah terdeformasi. Material elastis menyimpan energi ketika mengalami deformasi. Energi tersebut dilepaskan ketika *stress* memuncak.



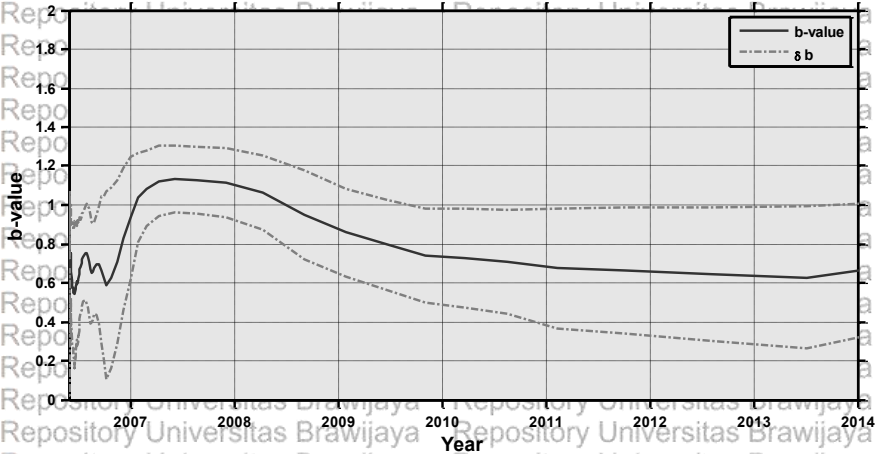
2005 – April 2006 : 2 gempa
 Mei 2006- Juli 2006 : 808 gempa
 Agustus 2006 – Maret 2016 : 735 gempa

Gambar 4. 6: Time Series gempabumi 2005-2016 $M \geq 1.0$ SR

Ketika medium mengalami stress yang tinggi, medium tersebut berpotensi untuk melepaskan energi yang lebih besar dalam bentuk gempa berskala lebih besar.

4.2.1. Variasi b -value secara temporal

b -value dari suatu lokasi mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Berdasarkan data gempabumi di lokasi penelitian dan dengan ukuran jendela *sampling* sebesar 100 data dan *grid* $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ atau sekitar 1.1x 1.1 km, diperoleh variasi b -value dari tahun ke tahun seperti pada Gambar 4.7. Kurva berwarna hitam menunjukkan besarnya b -value dan garis putus-putus menunjukkan deviasi standar.



Gambar 4. 7: Kurva perubahan b -value dari tahun 2006 s.d. 2014

Grafik di atas menunjukkan variasi b -value dari tahun ke tahun sejak sesaat sebelum terjadi gempabumi 27 Mei 2006, dengan nilai terendah mendekati nilai minimum, yakni 0.55. Menurut Scholz (1968), b -value rendah mengindikasikan tingkat *stress* yang tinggi. Penurunan b -value berkaitan dengan peningkatan tingkat *stress* efektif sebelum terjadi gempa besar (Kanamori, 1981). Hal ini terbukti dengan terjadinya gempabumi 5.90SR pada 27 Mei 2006. Setelah energi dilepaskan dalam bentuk gempabumi besar, b -value mengalami sedikit kenaikan di akhir tahun 2006

menjadi 0.75 mengindikasikan mulai berkurangnya *stress*, meski kemudian diikuti penurunan kembali ke angka 0.60. Penurunan ini mengindikasikan masih adanya energi yang belum terlepas sehingga dilepaskan melalui gempa-gempa susulan.

Kenaikan *b-value* yang cukup signifikan dimulai pada awal tahun 2007 hingga 2008 dengan nilai 1.10. Kenaikan *b-value* ini disebabkan oleh banyaknya gempa-gempa berskala kecil dimana gempa-gempa kecil ini melepaskan *stress* sebelum terakumulasi lebih banyak untuk menjadi gempa yang lebih besar. Pada akhir tahun 2008 hingga 2014 *b-value* relatif menurun dengan nilai terendah sebesar 0.61. Rendahnya *b-value* diduga akibat *stress* yang mulai terakumulasi terlihat dariberkurangnya jumlah kejadian gempabumi pada periode 2008-2014. Berkurangnya jumlah gempabumi diduga karena lapisan kerak bumi lebih mampu menahan *stress* sehingga tidak langsung dilepaskan dalam bentuk gempabumi.

4.2.2. Variasi *b-value* secara spasial

Pemetaan *b-value* secara spasial terbukti memiliki banyak informasi mengenai seismotektonik suatu daerah. Katalog gempabumi berkualitas tinggi yang dikumpulkan dalam 2 dekade terakhir, dan ketersediaan sarana komputasi, telah membantu peneliti dalam menginvestigasi variasi spasial *b-value* dengan tingkat detil yang belum pernah terjadi sebelumnya (Wiemer & Wyss, 2002). Berikut merupakan peta kontur *b-value* dari lokasi penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8.

Peta kontur *b-value* menunjukkan variasi spasial dari *b-value* yang berubah terhadap posisi. Variasi spasial *b-value* dibagi dalam dua periode, yakni periode gempa susulan dan bukan gempa susulan. Periode gempa susulan terjadi pada Mei 2006 s.d. Juli 2006. Pada periode yang dianggap masih terjadi gempa-gempa susulan dari gempa 27 Mei 2006, *b-value* bervariasi dari 0.65 s.d. 0.66. Berikutnya untuk periode bukan gempa susulan, yang terjadi pada Agustus 2006 s.d. Maret 2016, *b-value* relatif tinggi yakni 0.95-1.01.

Pada kedua periode, baik periode gempa susulan maupun bukan gempa susulan, bagian barat laut patahan Opak menunjukkan *b-value* yang relatif lebih tinggi dibandingkan bagian selatan dan tenggara patahan. Hal



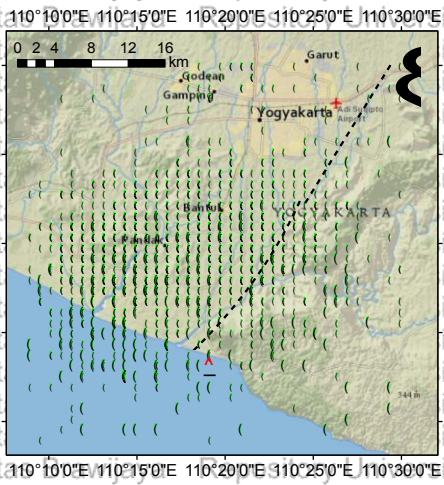
ini diduga disebabkan oleh karakteristik batuan di bagian barat laut patahan yang lebih heterogen dan kurang mampu menahan *stress* sehingga banyak terjadi gempa berskala kecil sebelum berkembang menjadi gempa yang lebih besar. Mori dan Abercrombie (1997) menyatakan bahwa sifat material heterogen dan *stress* litostatis pada kedalaman yang dangkal menyebabkan inisiasi *rupture* untuk berhenti sebelum berkembang menjadi gempa yang lebih besar, menghasilkan gempa-gempa yang lebih kecil. Sebaliknya, daerah dengan material yang lebih homogen, yaitu di bagian tenggara patahan, lebih mampu menahan *stress* sehingga lebih berpotensi menghasilkan gempa berskala besar.

a.) Variasi *b-value* Periode Mei 2006 – Juli 2006

b-value untuk periode Mei 2006 – Juli 2006 ditunjukkan pada Gambar 4.8(a). Pada periode ini *b-value* berkisar antara 0.65-0.66. Rendahnya *b-value* berkaitan dengan tingginya jumlah gempa yang dilepaskan dalam jangka waktu yang pendek, yakni kurang lebih dua bulan. *b-value* yang rendah menunjukkan bahwa terdapat gempa utama yang jelas dan gempa susulan yang kekuatannya berkurang seiring bertambahnya waktu. Hal ini terbukti bahwa pada 27 Mei 2006 terjadi gempa yang cukup kuat dan tercatat sebagai gempa utama. Sumber gempa utama yang terletak di bagian tenggara patahan Opak memberikan indikasi bahwa kondisi *stress* di bagian tenggara lebih tinggi sehingga memiliki *b-value* yang lebih rendah. Hal ini terlihat dari episenter gempa 5.90SR yang terletak di bagian selatan daerah patahan Opak.

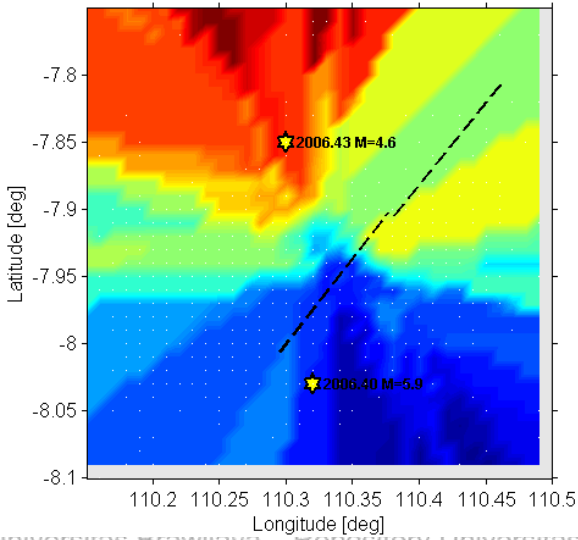
b.) Variasi *b-value* Periode Agustus 2006 – Maret 2016

b-value untuk periode Agustus 2006 – Maret 2016 ditunjukkan pada Gambar 4.8(b). Pada periode ini *b-value* berkisar antara 0.95-1.01. Jalur patahan Opak seluruhnya tertutup oleh warna biru atau memiliki *b-value* yang relatif seragam. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi *stress* di daerah patahan telah mencapai kestabilan antara segmen selatan dan utara jalur patahan. *b-value* yang tinggi menunjukkan banyaknya gempa berskala lebih kecil tanpa adanya gempa yang cukup besar sebagai gempa utama.



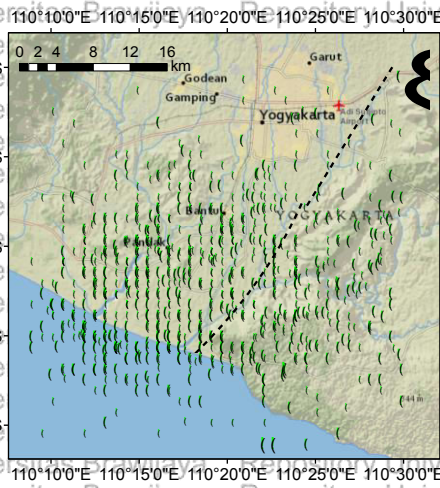
(a)

; 2006.3464 to 2006.5788



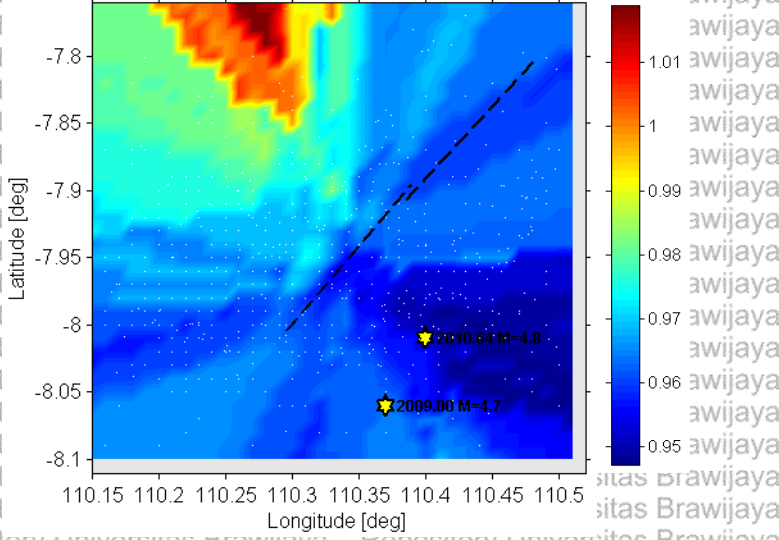
(b)

Gambar 4. 8: (a) Sebaran episenter gempa bumi dan (b) kontur *b*-value lokasi penelitian periode Mei 2006 – Juli 2006



(a)

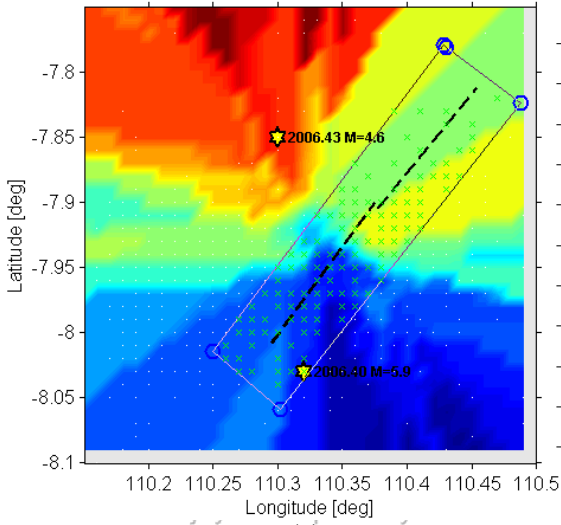
; 2006.5814 to 2016.328



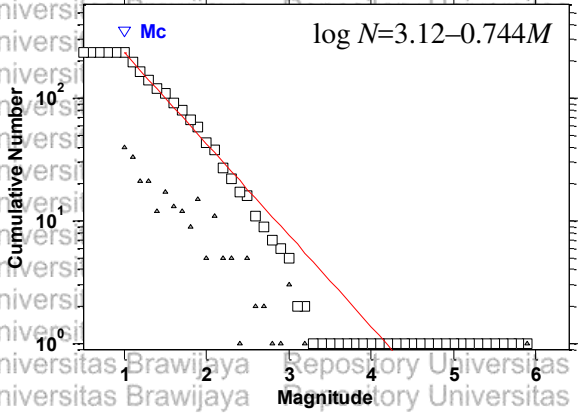
(b)

Gambar 4. 9:(a) Sebaran episenter gempa bumi dan (b) kontur *b-value* di lokasi penelitian periode Agustus 2006 –Maret 2016

: 2006.3464 to 2006.5788



(a)



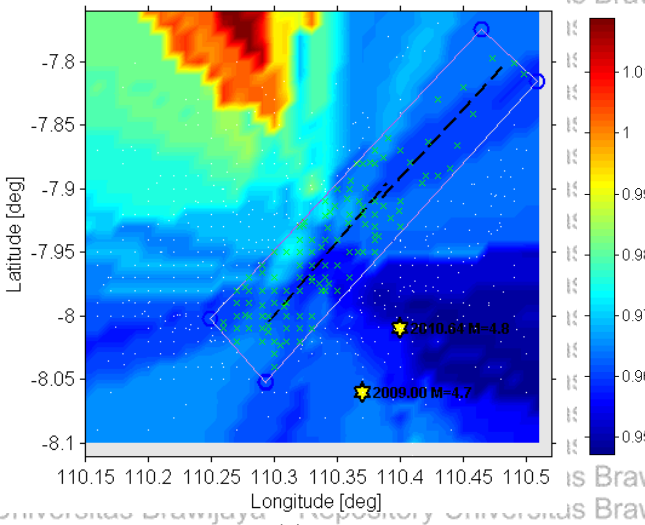
(b)

Maximum Likelihood Solution
 b-value = 0.744 +/- 0.05; a value = 3.1
 Magnitude of Completeness = 1

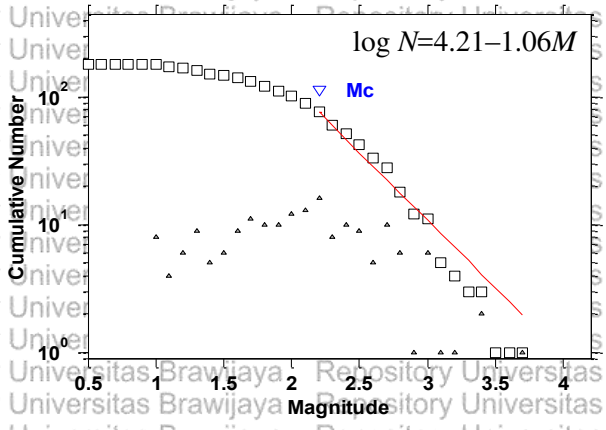
Gambar 4.10: *b*-value patahan Opak periode Mei 2006 – Juli 2006

- (a) Distribusi gempa bumi di sekitar jalur patahan Opak
- (b) Kurva distribusi frekuensi-magnitudo menunjukkan proporsi gempa berskala besar yang lebih tinggi

; 2006.5814 to 2016.328



(a)



(b)

Maximum Likelihood Solution
 b-value = 1.06 +/- 0.1, a value = 4.21,
 Magnitude of Completeness = 2.2

Gambar 4. 11: *b*-value patahan Opak periode Agustus 2006 – Maret 2016

(b) Distribusi gempabumi di sekitar jalur patahan Opak (b) Kurva distribusi frekuensi-magnitudo menunjukkan proporsi gempa berskala kecil yang lebih tinggi

4.2.3. Probabilitas frekuensi gempa bumi menggunakan relasi Gutenberg-Richter

Hubungan antara frekuensi dan magnitudo gempa bumi dinyatakan dalam fungsi Gutenberg dan Richter (2.1). Dengan menggunakan relasi ini, dapat diperkirakan seberapa banyak gempa bumi dengan magnitudo M terjadi dalam satu tahun. Apabila di daerah patahan Opak gempa berkekuatan $4.00+ SR$ terjadi 1 kali dalam satu tahun, untuk mengetahui berapa banyak gempa bumi berkekuatan $5.00+ SR$ yang terjadi dalam setahun dengan nilai b sebesar 0.95 untuk daerah tenggara patahan Opak berdasarkan Gambar 4.9, maka:

$$\log(1) = a - (0.95)(4) \quad (4.1)$$

$$0 = a - (0.95)(4)$$

$$a = (0.95)(4)$$

$$a = 3.8$$

$$\log N(5) = 3.8 - (0.95)(5) \quad (4.2)$$

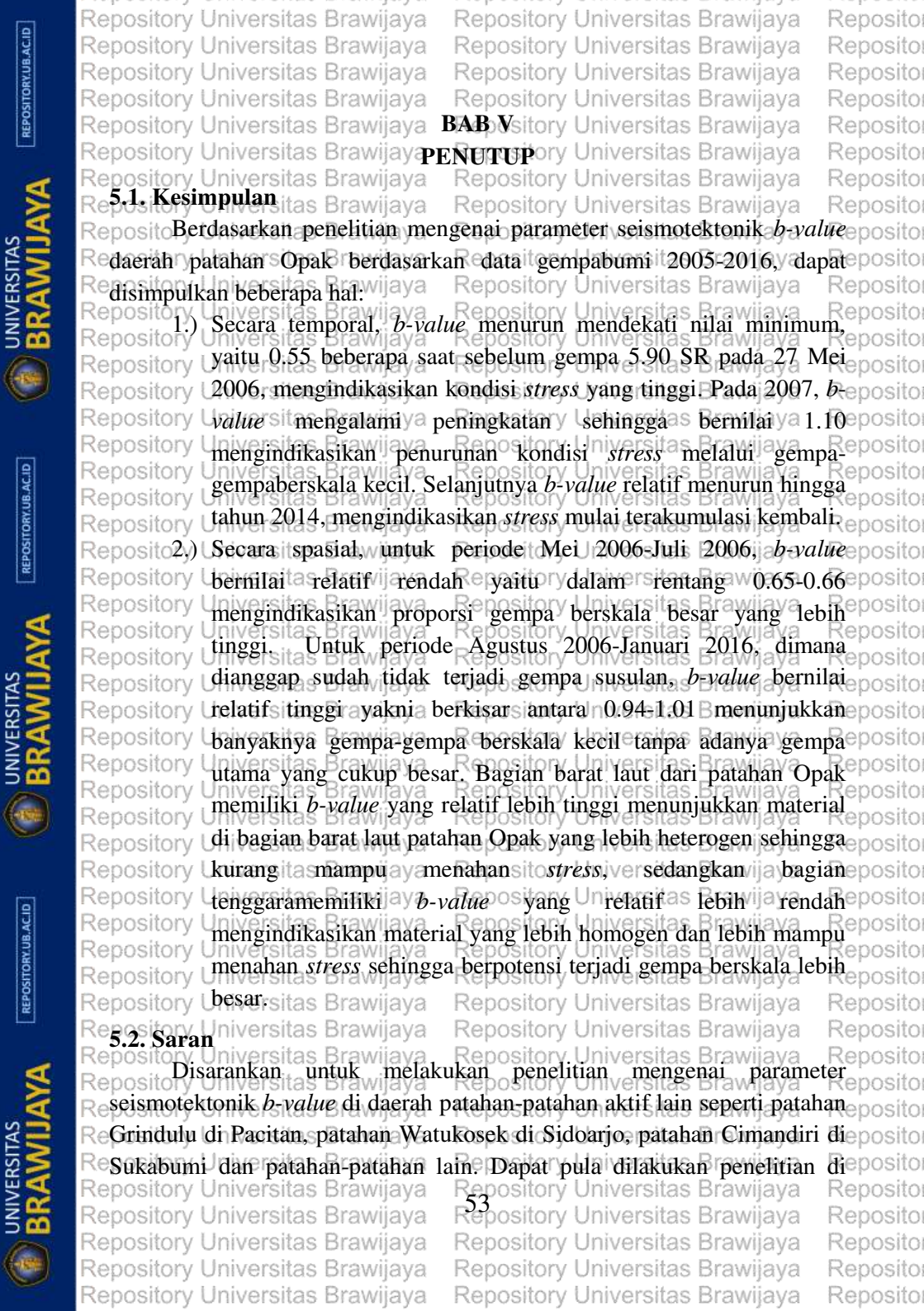
$$= 3.8 - 4.75$$

$$= -0.95$$

$$N(5) = 10^{-0.95} \quad (4.3)$$

$$= 0.11$$

atau sekitar 1 gempa setiap 9 tahun sekali.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai parameter seismotektonik *b-value* daerah patahan Opak berdasarkan data gempabumi 2005-2016, dapat disimpulkan beberapa hal:

1.) Secara temporal, *b-value* menurun mendekati nilai minimum, yaitu 0.55 beberapa saat sebelum gempa 5.90 SR pada 27 Mei 2006, mengindikasikan kondisi *stress* yang tinggi. Pada 2007, *b-value* mengalami peningkatan sehingga bernilai 1.10 mengindikasikan penurunan kondisi *stress* melalui gempa-gempaberskala kecil. Selanjutnya *b-value* relatif menurun hingga tahun 2014, mengindikasikan *stress* mulai terakumulasi kembali.

2.) Secara spasial, untuk periode Mei 2006-Juli 2006, *b-value* bernilai relatif rendah yaitu dalam rentang 0.65-0.66 mengindikasikan proporsi gempa berskala besar yang lebih tinggi. Untuk periode Agustus 2006-Januari 2016, dimana dianggap sudah tidak terjadi gempa susulan, *b-value* bernilai relatif tinggi yakni berkisar antara 0.94-1.01 menunjukkan banyaknya gempa-gempa berskala kecil tanpa adanya gempa utama yang cukup besar. Bagian barat laut dari patahan Opak memiliki *b-value* yang relatif lebih tinggi menunjukkan material di bagian barat laut patahan Opak yang lebih heterogen sehingga kurang mampu menahan *stress*, sedangkan bagian tenggaramemiliki *b-value* yang relatif lebih rendah mengindikasikan material yang lebih homogen dan lebih mampu menahan *stress* sehingga berpotensi terjadi gempa berskala lebih besar.

5.2. Saran

Disarankan untuk melakukan penelitian mengenai parameter seismotektonik *b-value* di daerah patahan-patahan aktif lain seperti patahan Grindulu di Pacitan, patahan Watukosek di Sidoarjo, patahan Cimandiri di Sukabumi dan patahan-patahan lain. Dapat pula dilakukan penelitian di



lokasi yang sama menggunakan parameter lain seperti perubahan rasio v_p/v_s , atenuasi gelombang melalui *codaQ-factor* (Q_c), *focal mechanism* dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharya, P.M., Kayal, J.R., Baruah, S., Arefiev, S.S. 2010. *Earthquake Source Zones in Northeast India: Seismic Tomography, Fractal Dimension and b-value Mapping, Seismogenesis and Earthquake Forecasting. The Frank Evison, Volume II, Pageoph Topical Volumes.*
- BMKG, 2014. *Gempabumi.* <http://www.bmkg.go.id/BMKG/Pusat/Gempabumi-Tsunami/Gempabumi.bmkg>.
- BNPB. 2008. *Himpunan Peraturan Perundangan Tentang Penanggulangan Bencana.* Jakarta.
- Crampin, S. and Y. Gao. 2015. *The Physics Underlying Gutenberg-Richter in the Earth and in the Moon.* *Journal of Earth Science*, Vol. 26, No. 1, p. 134-139, February 2015. China.
- Gutenberg, B and C. Richter. 1954. *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena.* Princeton: Princeton Univ. Press.
- Kanamori, H. 1981. *The Nature of Seismic Pattern Before Large Earthquake.* In *Earthquake Prediction: An International Review* (eds. Simpson D. W., and Richard P. G.) (Maurice Ewing Series, vol.4, AGU, Washington D. C. 1-19).
- Lay, T. and Wallace, T.C. 1995. *Modern global seismology.* San Diego: Academic Press.
- Marsyelina, Merizka. 2014. *Karakteristik Mikrotremor dan Analisis Seismisitas pada Jalur Sesar Opak, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Skripsi.* Yogyakarta: UNY.
- Mori and R. Abercrombie. 1997. *Depth dependence of earthquake frequency magnitude distributions in California: Implications for the rupture initiation.* *J. Geophys. Res.*, vol.102, p.15081, 1997.
- Munir, M. 2003. *Geologi Lingkungan.* Malang: Bayumedia.
- Nelson, Stephen A. 2015. *Earthquakes and Earth's Interior.* Tulane University. <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/earthint.htm>.

PVMBG. "Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral." *Gempa bumi dan Tsunami*.

Reid, H.F. 1910. *The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906*, Report of the State Investigation Commission, Vol.2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.

Richter, C. F. 1958. *Elementary Seismology*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.

Rohadi, 2009. *Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Wilayah Subduksi Pulau Jawa*. Balai Besar Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah II Jakarta. Jakarta

Scholz C.H. 1968. *The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes*. Bull Seism Soc Am. 58, 399-415.

Shearer, P. M. 2010. *Introduction to Seismology: The wave equation and body waves*. San Diego: University of California.

Spence, William, Stuart A. Sipkin and George L Choy. 1989. *Measuring the Size of An Earthquake: Earthquakes and Volcanoes*. (USGS), v. 21, iss. 1, p. 58-63.

Stein, S. and M. Wyesession, 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure*. Oxford: Blackwell Publishing.

Sudarno, I. 1997. *Petunjuk Adanya Reaktivasi Sesar Di Sekitar Aliran Sungai Opak, Perbukitan Jiwo Dan Sisi Utara Kaki Pegunungan Selatan*. Media Teknik No. 1 Tahun XIX Edisi Pebruari 1997.

Suhardjono. 2007. *Peningkatan Kemampuan Pengamatan Gempabumi*. Jakarta.

USGS. 2016. Earthquake Glossary <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=stress>.

USGS. 2006. Preliminary Earthquake Report, The website of United States Geological Survey, *Earthquake Hazards Program*, (available at <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2006/usneb6/>).

Van Bemmelen, R.W.1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, Martinus Nijhoff, the Hague, 732 p.

Wiemer, S. and M. Wyss, 2002. *Mapping Spatial Variability of the Frequency-Magnitude Distribution of Earthquakes*. Geophysics in Press.



