

**ANALISIS KEAKTIFAN GEMPABUMI DAN VARIASI
TEMPORAL DI MALUKU UTARA**

SKRIPSI

oleh:

DEVITA SARI PUTRI

115090707111016



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

repository.ub.ac.id

**ANALISIS KEAKTIFAN GEMPABUMI DAN VARIASI
TEMPORAL DI MALUKU UTARA**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

oleh:

DEVITA SARI PUTRI

115090707111016



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KEAKTIFAN GEMPABUMI DAN VARIASI
TEMPORAL DI MALUKU UTARA**

oleh :
DEVITA SARI PUTRI
115090707111016

Setelah dipertahankan di depan majelis penguji
Pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr.Sunaryo, S.Si.,M.Si
NIP.196712281994121001

Hermizal, M.Si
NIP.198210262008121001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Prof.Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda
NIP.196409101990021001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Devita Sari Putri
NIM : 115090707111016
Jurusan : Fisika
Penulisan Tugas Akhir Berjudul :

**ANALISIS KEAKTIFAN GEMPABUMI DAN VARIASI
TEMPORAL DI MALUKU UTARA**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Maret 2018

Yang Menyatakan

Devita Sari Putri
NIM.115090707111016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai keaktifan gempabumi dan variasi temporal di wilayah Maluku Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keaktifan gempabumi dan variasi temporal di Maluku Utara berdasarkan nilai b , nilai a dan periode ulang, di wilayah Maluku Utara. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data gempabumi dengan kedalaman 2-60 km yang diperoleh dari repogempa dan BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika) periode 1975-2015. Perhitungan parameter nilai b , nilai a , dan periode ulang gempabumi dilakukan dengan metode maximum likelihood di software ZMAP dengan analisis secara spasial dan temporal. Hasil perhitungan nilai b yang diperoleh yaitu sekitar 0.3-1.2, nilai a yaitu 2.5-7.5. Sedangkan hasil analisis spasial periode ulang gempabumi dengan magnitudo ≥ 7.0 berada pada kisaran 10-30 tahun, dari hasil yang diperoleh tersebut dapat disimpulkan bahwa wilayah Maluku Utara memiliki keaktifan gempabumi yang tinggi dan juga berpeluang terjadinya gempabumi dengan magnitudo yang besar di waktu yang akan datang. Pada pola variasi temporal (variasi nilai b terhadap waktu) menunjukkan bahwa nilai b mengalami penurunan saat terjadi gempabumi dengan magnitudo besar.

Kata Kunci : nilai b , nilai a , periode ulang, variasi temporal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



ABSTRACT

An analysis of earthquake activity and temporal variation has been done in North Maluku. The purpose of this research to know the activity of earthquake and the temporal variation based on b value, a value and return period in North Maluku. The data used in this research was the data of earthquake with depth 2-60 km, that's got from Repogempa and BMKG (*Meteorology Climatology And Geophysics Agency*) in periode 1975–2015. Calculation of parameter b value , a value, and return period of earthquake with maximum likelihood method in ZMAP software with spatial and temporal analysis. The result of calculation b value is in the range 0.3-1.2, and a value is in the range 2.5-7.5. While the spatial analysis results of the return period of earthquake with magnitude ≥ 7.0 is in the range of 10-30 years, from the results obtained it can be concluded that the northern Maluku region has a high earthquake activity and also has a chance of earthquakes with large magnitudes in the future. The pattern of temporal variation (variation b value vs time) shows that b value decreases when earthquake occurs with large magnitude.

Keywords : *b value, a value, return period, temporal variation.*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadirat Allah SWT, atas berkat Rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Keaktifan Gempabumi dan Variasi Temporal Di Maluku Utara" yang telah dilaksanakan di BMKG Stasiun Geofisika Kota Ternate Maluku Utara sejak bulan April sampai bulan Agustus 2016 dapat selesai dengan lancar. Penulis menyadari bahwa selesainya laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka dari itu Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Dr. Sunaryo S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan masukan, arahan, dan bimbingan yang diberikan selama penulisan Laporan Tugas Akhir.
2. Kepala Stasiun Geofisika Kelas III Ternate, yang telah memberikan izin dan kemudahan dalam melakukan penelitian tugas akhir di BMKG kelas III Ternate.
3. Hermizal M.Si, selaku sebagai pembimbing lapangan dari pihak BMKG yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingan selama pelaksanaan Tugas Akhir hingga selesai.
4. Para staf BMKG yang telah ramah menyambut penulis selama penelitian Tugas Akhir..
5. Keluarga tercinta Almarhum ayah, Ibu, kakak dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
6. Teman seperjuangan geofisika Rif'atul, yang telah memberikan motivasi, serta dukungan terbaik kepada penulis.
7. Sahabat-sahabat dan seluruh teman-teman beasiswa Pertamina angkatan 2011 yang senantiasa memberikan semangat, motivasi dan dukungan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
8. Sahabat-sahabat SMAN I Halmahera Tengah yang selalu memberikan dukungan dan inspirasi kepada penulis.

9. Seluruh pihak yang telah membantu dan terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir penulis yang tidak bisa di sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir tidak akan luput dari berbagai kesalahan dan kekurangan, maka saran dan kritik yang membangun diharapkan untuk perbaikan dalam penelitian yang akan datang. Akhir kata penulis berharap semoga hasil karya tulis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, amin.

Malang , Maret 2018

penulis



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
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	xixx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tektonik Maluku Utara	5
2.2 Gempabumi	6
2.3 Parameter Gempabumi	9
2.4 Gelombang Seismik	10
2.5. Penentuan Magnitudo	13
2.6. Konversi Magnitudo.....	14
2.7 Hubungan Frekuensi Dan Magnitudo Gempabumi	15
2.8. Arti fisis Nilai a Dan Nilai b.....	16

2.8.1 Nilai a (<i>a value</i>).....	16
2.8.2 Nilai b (<i>b value</i>).....	17
2.9 Seismisitas Suatu Wilayah.....	18
2.10 Variasi <i>b Value</i> Terhadap Waktu (Temporal).....	19
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2. Alat Penelitian	21
3.3 Pengumpulan Data	21
3.4. Pengolahan Data.....	21
3.4.1 Konversi Magnitudo.....	21
3.4.2 Penentuan Nilai b, Nilai a Dan Periode Ulang Gempabumi	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Dan Pembahasan Nilai a Nilai b.....	27
4.1.1 Daerah 1	28
4.1.2 Daerah 2	31
4.1.3 Daerah 3	34
4.1.4 Daerah 4	37
4.2 Periode Ulang Gempabumi	42
4.3 Variasi Temporal Nilai b	45
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Peta tektonik Maluku Utara.	5
Gambar 2.2 Pergerakan lempeng tektonik	7
Gambar 2.3 Titik hiposenter di dalam bumi	10
Gambar 2.4 Gelombang P	11
Gambar 2.5 Gelombang S.	11
Gambar 2.6 Gelombang <i>love</i>	12
Gambar 2.7 Gelombang <i>Rayleigh</i>	12
Gambar 2.8 Nilai-b terhadap waktu di wilayah Andaman (1995- 2000), katalog ISC.....	19
Gambar 3.1 Tampilan utama pada ZMAP	23
Gambar 3.2 Wilayah penelitian	24
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian	25
Gambar 4.1 Peta distribusi gempabumi Maluku Utara	27
Gambar 4.2 Peta variasi spasial nilai b di daerah 1.....	28
Gambar 4.3 Peta variasi spasial nilai a di daerah 1	29
Gambar 4.4 Kurva distribusi frekuensi-magnitudo kegempaan di daerah 1.....	30
Gambar 4.5 Peta spasial variasi nilai b di daerah 2	31
Gambar 4.6 Peta spasial variasi nilai a di daerah 2.....	32
Gambar 4.7 Kurva distribusi frekuensi-magnitudo kegempaan di daerah 2	33
Gambar 4.8 Peta spasial variasi nilai a di daerah 3.....	34
Gambar 4.9 Peta spasial variasi nilai b daerah 3.....	35
Gambar 4.10 Kurva distribusi frekuensi magnitudo kegempaan di daerah 3.....	36
Gambar 4.11 Peta spasial variasi nilai b daerah 4	37
Gambar 4.12 Peta spasial variasi nilai a daerah 4.....	38
Gambar 2.13 Kurva distribusi frekuensi magnitudo kegempaan di daerah 4	39

Gambar 4.14 Peta sebaran variasi spasial periode ulang gempabumi dengan magnitudo ≥ 7 SR periode tahun 1975-2015... 42

Gambar 4.14 Grafik hubungan antara kejadian gempabumi dengan perubahan nilai b di wilayah Maluku Utara, simbol berwarna kuning menunjukkan kejadian gempa dengan magnitudo $M \geq 7.0$ beserta tabel waktu kejadian gempabumi 46



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Persamaan konversi magnitudo gempa bumi
(Irsyam,2010).....15

Tabel 4.1.Nilai keaktifan gempa bumi pada setiap daerah di wilayah
Maluku Utara.....40

Tabel 4.2 Perhitungan periode ulang gempa bumi secara keseluruhan
di wilayah Maluku utara dengan magnitudo 7.....42



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Data Historis Gempabumi Wilayah Maluku Utara Periode 1975 2015.....	55
Lampiran 2. Dokumentasi.....	65





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kerawanan gempa yang tinggi, ini disebabkan karena Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik serta satu lempeng mikro yaitu lempeng Filipina. Lempeng-lempeng tersebut bergerak satu sama lain, hal inilah yang menyebabkan Indonesia sebagai salah satu negara yang rawan terhadap gempabumi (Idha, 2014). Salah satu kepulauan Indonesia yang memiliki tingkat kerawanan gempa yang tinggi yaitu wilayah Maluku Utara. Maluku Utara berbatasan dengan laut Seram di selatan, Samudera Pasifik di sebelah utara dan timur dan pulau Sulawesi di bagian barat. Secara tektonik wilayah Maluku Utara dipengaruhi oleh subduksi lempeng Filipina di utara hingga ke timur, sesar Sorong dan Sula di selatan, dan subduksi ganda lempeng laut Maluku di sebelah barat (Tim Revisi Peta Gempa, 2010) dalam (Lumintang, 2015). Dalam catatan sejarahnya, wilayah Maluku Utara sudah beberapa kali mengalami gempabumi merusak, berdasarkan katalog gempabumi dari Pusat Gempa Nasional (PGN) Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 1975-2012 telah terjadi 12 kali gempa dengan kekuatan diatas M 7.0 (Hermizal, 2014). Selain itu gempabumi besar dengan kekuatan M 7.3 juga terjadi di wilayah Maluku Utara pada tanggal 15 november 2014, dengan kedalaman 48 km, gempabumi tersebut menimbulkan tsunami kecil di daerah sekitar pusat gempa (Daryono, 2014). Untuk mengurangi dampak bencana yang disebabkan oleh gempabumi maka perlu dilakukan upaya mitigasi secara dini, mitigasi bencana dapat dilakukan dengan mengetahui risiko kegempaan yang terjadi. Meskipun terjadinya gempa tidak dapat diprediksi, namun dapat dilakukan beberapa metode analisis yang dapat meminimalisir risiko bencana gempabumi.

repository.ub.ac.id

Untuk meminimalisir resiko terjadinya gempabumi maka perlu mengetahui daerah - daerah yang mempunyai resiko tinggi terhadap gempabumi. Menurut Raharjo (2016) Proses yang menyebabkan terjadinya gempabumi besar dan merusak di suatu daerah perlu dipahami dengan kondisi *stress* lokal tektonik dan tingkat keaktifan kegempaan. Kondisi *stress* lokal dapat diketahui dengan menggunakan metode seismotektonik (nilai *b*) dan (nilai *a*), berdasarkan hubungan distribusi frekuensi magnitudo dengan pendekatan metode *likehood*.

Ukuran dari tingkat keaktifan kegempaan dari Suatu wilayah diketahui dari analisis variasi spasial nilai *a* dan nilai *b*. Nilai *a* menunjukkan keaktifan seismik, sementara nilai *b* berhubungan dengan *stress* lokal yang menunjukkan tingkat kerapuhan batuan. Pada penelitian ini, nilai *a* dan nilai *b* dianalisis untuk mengetahui tingkat keaktifan pada tiap daerah di wilayah Maluku Utara. Selain itu, analisis periode ulang gempabumi dilakukan untuk mengetahui kemungkinan gempabumi besar di waktu yang akan datang. Analisis nilai *b* juga dilakukan dalam bentuk temporal, analisis tersebut dilakukan agar diketahui perubahan nilai *b* terhadap waktu untuk melihat perubahan pola nilai *b* terhadap waktu saat terjadinya gempabumi besar. Hasil dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam upaya mitigasi di wilayah Maluku Utara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana tingkat keaktifan gempabumi berdasarkan hasil analisis spasial nilai *a* dan nilai *b* di Maluku Utara?
2. Bagaimana hasil periode ulang di Maluku Utara?
3. Bagaimana variasi nilai *b* terhadap waktu (temporal) di Maluku Utara selama periode 1975-2015?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Data yang digunakan adalah data sekunder milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika dengan batasan wilayah 3 LU sd -2LS dan 121 sd 129 BT, dalam kurun waktu 1975 sampai dengan 2015.
2. Gempa yang dianalisis merupakan gempa utama (*mainshock*) dengan kedaman < 60 km
3. Pengolahan data untuk nilai a dan nilai b serta periode ulang baik secara spasial maupun temporal menggunakan software ZMAP yang dijalankan di MATLAB.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui tingkat keaktifan gempabumi berdasarkan analisis spasial nilai a dan nilai b di Maluku Utara
2. Mengetahui periode ulang gempabumi di Maluku Utara
3. Mengetahui variasi nilai b terhadap waktu (temporal) di Maluku Utara.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada pemerintah dan masyarakat dalam upaya mitigasi bencana gempabumi di wilayah Maluku Utara, yang diharapkan dapat meminimalisir tingkat kerusakan yang disebabkan oleh gempabumi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

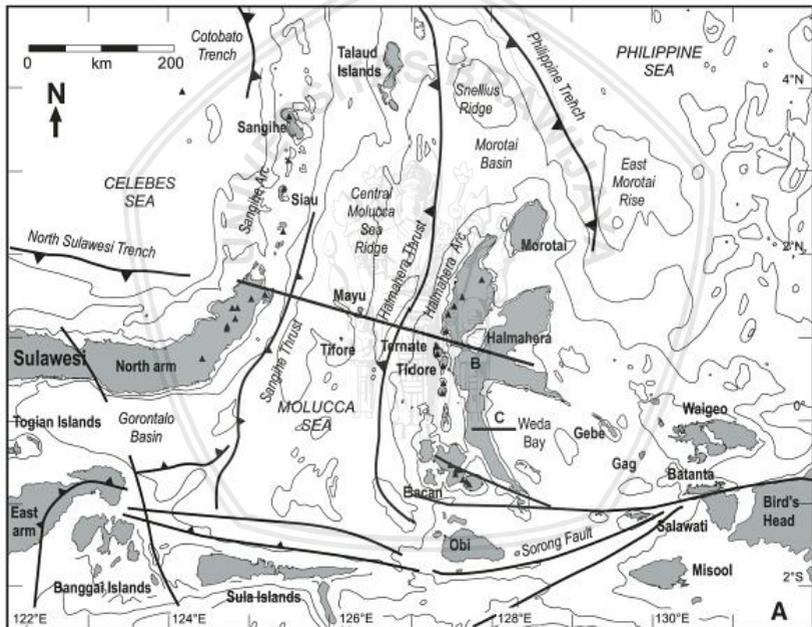


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tektonik Maluku Utara

Maluku Utara merupakan salah satu wilayah yang berada di antara segmen tektonisme besar dunia, seperti yang terlihat pada gambar 2.1, menunjukkan bahwa kawasan Maluku Utara dikelilingi oleh beberapa lempeng, yaitu antara lain adalah lempeng Pasifik di sebelah timur, lempeng Eurasia di sebelah barat, lempeng Filipina di sebelah utara dan sebelah selatan dengan Indo-Australia.



Gambar 2.1. Peta tektonik Maluku Utara (Waltham dkk, 2008).

Pertemuan lempeng-lempeng tektonik tersebut membentuk zona subduksi yang mengakibatkan terbentuknya palung laut, cekungan, pegunungan, sesar serta aktivitas magma dan gempa bumi (Ibrahim dan Subarjo, 2005) dalam (Hermizal, 2014). Zona

tumbukan pada wilayah Maluku dikenal dengan struktur geologi yang paling rumit, dikarenakan pada kawasan ini lempeng mikro laut Maluku hampir seluruhnya tersubduksi dan berada di antara tiga lempeng konvergen yaitu Eurasia, Pasifik, dan Filipina.

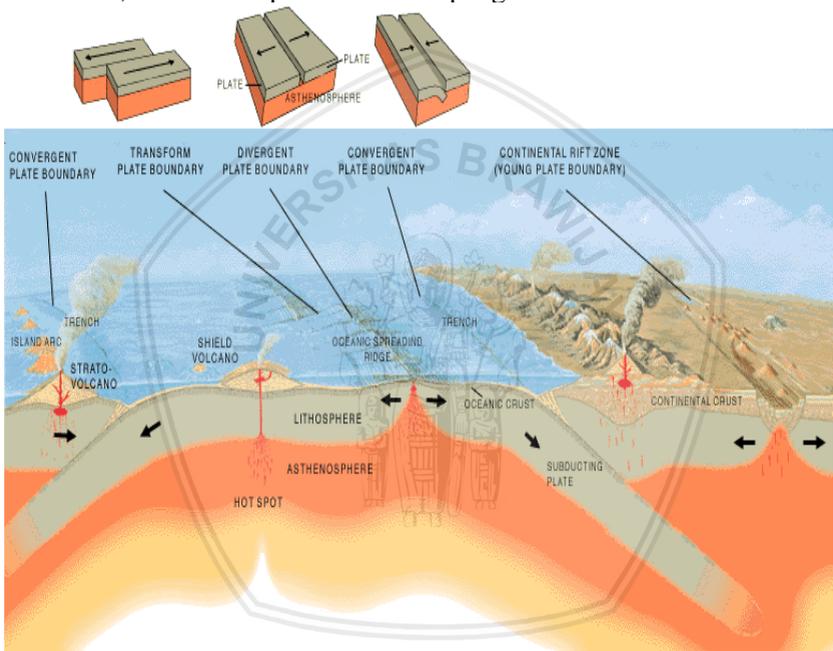
Cardwell dkk (1980) dalam Moris dkk (1983) menyebutkan bahwa zona tumbukan di laut Maluku berawal dari kawasan di sebelah utara pulau Talaud, dan semakin ke selatan zona konvergensi berada di sepanjang dua zona subduksi yang mengapit dari kedua sisi, keunikan lain dari kawasan ini ditunjukkan oleh sistem subduksi yang pada hampir seluruhnya tenggelam di laut Maluku. Sementara busur Sangihe dan Halmahera disisi timur dan baratnya sampai saat ini masih terus berkoalisi. Zona seismik di sebelah utara pulau Halmahera adalah lempeng Filipina yang menunjam di bawah Filipina di sepanjang palung Filipina yang merupakan suatu konfigurasi busur kepulauan sebagai hasil tumbukan lempeng di bagian barat pasifik, sebuah *transform fault* menghubungkan ujung selatan busur kepulauan ini dengan busur Halmahera (Hermizal, 2014).

2.2 Gempabumi

Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya permukaan bumi yang ditimbulkan oleh pelepasan energi dalam bentuk gelombang pada lapisan kerak bumi seperti patahan permukaan, gerakan tanah, guncangan tanah, dan bentuk lain dari retakan tanah serta tsunami. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi getarannya dapat merusak atau tidak merusak yang tergantung pada kekuatan sumber gempa (magnitudo), posisi dan kedalaman sumber gempa, kondisi geologi setempat serta kualitas bangunan yang ada pada wilayah tersebut (Abdillah, 2010). Menurut *teori elastic rebound* yang dinyatakan oleh seismolog Reid, (K.E Bullen, 1965; B.Bolt, 1988) dalam (Fulki, 2011) bahwa gempabumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastik batuan yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi di litosfer, deformasi batuan terjadi karena adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau tarikan yang terus menerus akan menyebabkan daya dukung pada batuan dapat mencapai batas maksimum, sehingga terjadinya pergeseran yang menimbulkan patahan secara tiba-tiba, energi yang tersimpan akan dilepaskan

dalam bentuk getaran yang biasa dikenal sebagai gempa bumi. Gempa dapat disebabkan oleh : letusan gunung api, runtuh gua kapur atau daerah tambang (gempa runtuh), ledakan nuklir (gempa buatan), dan gempa tektonik (Abdillah, 2010).

Gempa bumi tektonik merupakan proses pelepasan energi akibat terjadinya patahan pada batuan kerak bumi, energi tersebut akan menjalar pada medium bumi dalam bentuk gelombang seismik. gelombang tersebut akan menjalar pada segala arah yang akan tercatat di stasiun pada seismogram. Gempa bumi tektonik hanya terjadi pada daerah pertemuan lempeng tektonik, daerah patahan atau sesar aktif, dan daerah pemekaran lempeng tektonik.



Gambar 2.2 Pergerakan lempeng tektonik (USGS, 2016).

repository.ub.ac.id

Terdapat tiga jenis pergerakan lempeng tektonik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2, yaitu:

1. Saling menjauhi (*Divergent*)

Batas divergen terjadi ketika dua lempeng tektonik bergerak saling menjauh (*break apart*). Magma panas akan menembus di antara dua lempeng tersebut dan membentuk batuan baru. Proses ini akan membentuk punggung samudera (*oceanic ridge*), punggung tengah samudra (*mid-oceanic ridge*) dan zona retakan (*rifting*).

2. Saling Mendekati Dan Bertubrukan (*Convergent*)

Batas konvergen terjadi jika dua lempeng mendekati satu sama lain yang menyebabkan salah satu lempeng menyusup di bawah lempeng yang lain, sehingga membentuk zona subduksi, atau tabrakan benua (*condinental collision*).

3. Saling Berpapasan (*Transform*)

Batas transform terjadi ketika dua lempeng tektonik bergerak sejajar namun berlawanan arah keduanya tidak saling menjauh maupun saling menumpu. Batas transform ini dikenal sebagai sesar ubahan bentuk (*transform fault*). Jika terdapat dua lempeng bertemu pada suatu sesar, maka keduanya dapat bergerak saling menjauh atau saling bersinggungan.

Berdasarkan magnitudo (M), gempabumi dapat dibedakan atas :

- Gempabumi sangat besar dengan magnitudo 8-9 SR
- Gempabumi besar dengan magnitudo diantara 7-8 SR
- Gempa bumi merusak dengan magnitudo antara 5-6 SR
- Gempabumi sedang dengan magnitudo diantara 4-5 SR
- Gempabumi kecil dengan magnitudo diantara 3-4
- Gempabumi mikro dengan magnitudo antara 1-3 SR
- Gempabumi ultra mikro dengan magnitudo lebih kecil dari 1 SR (Malik, 2006) dalam (Mutiarani, 2013).

repository.ub.ac.id

Terjadinya gempabumi biasanya diiringi dengan beberapa guncangan diantaranya :

- a. *Foreshock*, merupakan deretan guncangan yang terjadi sebelum gempa.
- b. *Aftershock*, merupakan deretan guncangan yang terjadi sesudah gempabumi, dapat terjadi selama berbulan-bulan.
- c. *Swarm*, merupakan sejumlah guncangan kecil tanpa gempabumi utama (Pertiwi, 2010).

2.3 Parameter Gempabumi

Parameter gempabumi digambarkan dengan tanggal terjadinya, waktu kejadian gempa, koordinat episenter (yang dinyatakan dengan koordinat garis lintang dan garis bujur), kedalaman hiposenter, magnitudo, dan intensitas gempabumi.

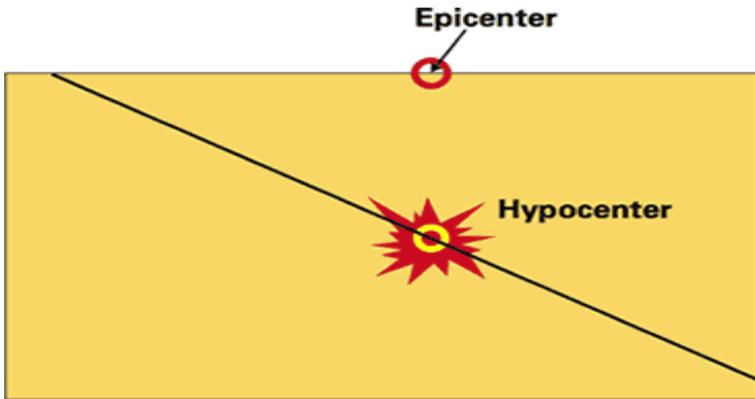
1. Episenter

Episenter (*epicenter*) merupakan hasil dari proyeksi hiposenter ke permukaan bumi, atau dapat disebut juga sebagai titik di permukaan bumi yang diperoleh dari penarikan garis tegak lurus pada permukaan bumi. Letak episenter tegak lurus terhadap hiposenter, dan sekitarnya merupakan wilayah yang paling besar merasakan gempabumi.

2. Hiposenter

Hiposenter (*hypocenter*) merupakan pusat atau sumber gempabumi atau tempat terjadinya perubahan lapisan batuan atau disklokasi di dalam bumi sehingga menimbulkan gempabumi. Gambaran mengenai hiposenter dapat dilihat pada gambar 2.2. Menurut (Howell, 1969) dalam (Mutiarani, 2013) telah membagi jenis-jenis gempa bumi berdasarkan kedalaman hiposenternya yaitu :

- a. Gempabumi dangkal, dengan Pusatnya < 70 km
- b. Gempabumi sedang, dengan pusatnya 70-300 km
- c. Gempabumi dalam dengan pusatnya 300-700 km.



Gambar 2.3 Titik hiposenter di dalam bumi (USGS, 2017).

Gempa bumi banyak terjadi pada kedalaman rata-rata 25 km, dan berangsur ke bawah tidak lebih dari 700 km. Gempabumi dangkal cenderung lebih kuat dari pada gempabumi dalam, oleh sebab itu gempabumi dangkal lebih banyak menyebabkan kerusakan. Adapun hiposenter yang terletak di dasar laut maka getaran gempabumi yang terjadi dapat menimbulkan gelombang air pasang yang sangat besar dengan ketinggian dapat mencapai puluhan meter. Semakin besar energi yang dikeluarkan dari hiposenter maka semakin besar gelombang air laut yang dihasilkan.

2.4 Gelombang Seismik

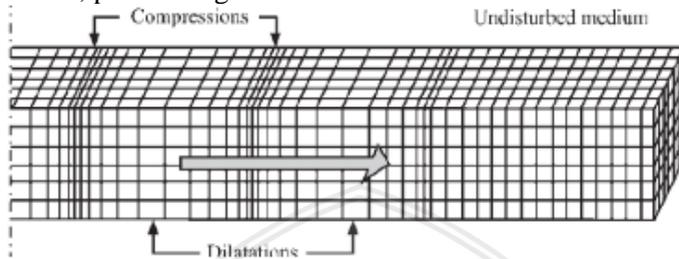
Gelombang Seismik merupakan gelombang yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan bumi. Gelombang utama gempabumi terdiri dari dari dua tipe yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

1. Gelombang Badan (*Body wave*)

Gelombang badan atau *body wave* merupakan gelombang yang menjalar dalam medium elastik yang arah rambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan arah perambatan gelombang dan pergerakan partikel dalam medium maka gelombang badan dibagi menjadi dua bagian yaitu gelombang P dan gelombang S.

a. Gelombang P (Gelombang Primer)

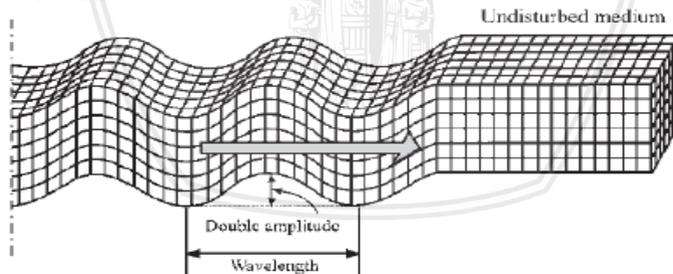
Gelombang P atau biasa disebut dengan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal merupakan gelombang yang memiliki kecepatan rambat yang paling besar jika dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, gelombang P dapat merambat melalui medium cair, padat dan gas.



Gambar 2.4. Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

b. Gelombang S (Gelombang Sekunder)

Gelombang sekunder disebut juga sebagai gelombang transversal dikarenakan gerakan partikel yang tegak lurus terhadap arah penjarannya . Waktu tiba gelombang sekunder biasanya setelah datang gelombang primer, gelombang S hanya dapat merambat pada medium yang padat.



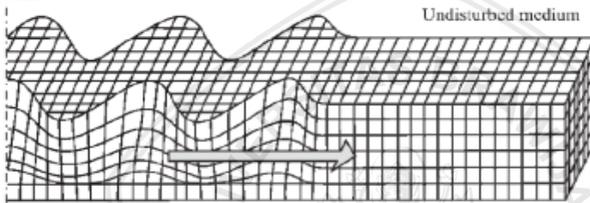
Gambar 2.5 Gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).

1. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan atau *surface wave* merupakan gelombang yang merambat di sepanjang permukaan bumi. Kecepatan perambatan gelombang ini sangat kecil jika dibandingkan dengan gelombang badan. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua jenis yaitu gelombang *love* dan gelombang *Rayleigh*.

a. Gelombang *Love*

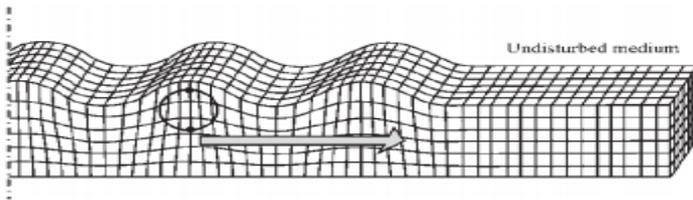
Gelombang *love* yaitu gelombang yang menjalar secara horizontal. Pergerakan partikel *love* sejajar dengan permukaan dan tegak lurus dengan arah perambatan. Jika dibandingkan dengan gelombang *Rayleigh* gelombang *love* lebih cepat ketika dilihat pada seismogram.



Gambar 2.6. Gelombang *love* (Elnashai dan Sarno, 2008).

b. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* memiliki gerakan partikel yang menyerupai ellips yang dihasilkan oleh interaksi gelombang datang P dan S yang berinteraksi dan merambat secara sejajar pada permukaan tersebut. Gelombang ini menjalar pada permukaan tersebut. Gelombang ini menjalar pada permukaan homogen dengan gerakan sirkuler sehingga tanah akan bergerak naik turun seperti ombak.



Gambar 2.7 Gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008)

2.5. Penentuan Magnitudo

Magnitudo merupakan ukuran dari kekuatan gempabumi yang berdasarkan energi yang dilepaskan pada saat terjadinya gempabumi. magnitudo dinyatakan dalam skala richter (SR) dan dilambangkan dengan M (Idha, 2014). Penentuan magnitudo didasarkan pada besar kecilnya amplitudo gelombang gempabumi yang terrekam pada seismogram. Magnitudo yang terbaca pada data gempabumi biasanya menggunakan skala magnitudo yang beragam yaitu : *surface wave magnitude* (M_S), *richter local magnitude* (M_L), magnitudo durasi (M_D), *body wave magnitude* (M_b) dan *moment magnitude* (M_W).

1. Magnitudo Lokal/ Richter local magnitude (M_L)

Magnitudo lokal pertama kali dikembangkan pada tahun 1935 oleh Richter dengan melakukan pengukuran magnitudo berdasarkan amplitudo maksimum gerakan tanah pada arak 100 km dari episenter gempabumi yang dilakukan di kawasan California dengan jarak episenter $30 < \Delta < 600$ km. Penentuan tersebut berdasarkan pada perekaman gelombang yang tercatat pada seismograf Woods Anderson yang memiliki kemampuan mendeteksi gerakan tanah mulai dari $0,00001$ mm (1×10^{-5}) hingga 1 m. Rentang angka tersebut dirasa terlalu besar, sehingga Richter membuat penyederhanaan menjadi bilangan logaritma berbasis 10, yakni setiap kenaikan 1 angka pada skala Richter menunjukkan amplitudo 10 kali lebih besar.

2. Magnitudo Gelombang Permukaan (M_s)

Magnitudo gelombang permukaan diukur berdasarkan amplitudo gelombang permukaan yang disingkat dengan M_s . Amplitudo gerakan tanah yang digunakan adalah amplitudo maksimum gelombang permukaan. Magnitudo permukaan merupakan magnitudo gempa untuk gempa jauh dengan jarak episenter $\Delta > 600$ km .

3. Magnitudo Momen (M_W)

Magnitudo momen merupakan magnitudo yang didasarkan pada momen seismik. Momen seismik merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur besarnya kekuatan gempa yang disebabkan oleh slip atau pergelinciran sesar. Momen seismik dapat diketahui dengan estimasi dari pergeseran bidang sesar atau berdasarkan analisis karakteristik gelombang gempabumi

yang terekam pada stasiun pencatat khusus dengan seismograf periode bebas (*broadband seismograph*).

4. Magnitudo Badan (M_b)

Magnitudo badan dicirikan sebagai magnitudo gempabumi jauh yang mempunyai kedalaman relatif dangkal. Penentuan magnitudo gelombang badan dilakukan berdasarkan amplitudo gelombang badan (P atau S).

5. Magnitudo Durasi (M_D)

Magnitudo durasi merupakan magnitudo perkembangan dari magnitudo lokal yang digunakan untuk tipe magnitudo lokal. Magnitudo durasi digunakan untuk solusi dari keterbatasan kertas analog yang digunakan dalam merekam gempa lokal yang kuat. Penentuan magnitudo ini didasarkan pada durasi sinyal pada setiap kejadian gempa (Sukanta, 2010) dalam (Hasanah, 2015).

2.6. Konversi Magnitudo

Data katalog gempa yang diperoleh dari berbagai sumber pada umumnya masih dalam skala magnitudo yang berbeda-beda, sehingga skala-skala magnitudo yang berbeda harus dikonversi menjadi satu skala magnitudo yang sama. Konversi dilakukan dengan memasukkan rumus dari tim revisi peta gempa Indonesia 2010 seperti pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Persamaan konversi magnitudo gempabumi (Irsyam, 2010).

No	Persamaan Konversi Magnitudo
1	$M_w = 0.14 M_s^2 - 1.051 M_s + 7.285$
2	$M_w = 0.114 M_b^2 - 0.556 M_b + 5.560$
3	$M_w = 0.787 M_E - 1.537$
4	$M_b = 0.125 M_L^2 - 0.389 M_L + 3.513$
5	$M_L = 0.717 M_D - 1.003$

repository.ub.ac.id

Magnitude completeness atau biasa disebut sebagai *threshold* atau *cut off magnitude*, diartikan sebagai magnitudo minimal 100% kejadian gempabumi yang terekam dengan baik dalam katalog, baik secara temporal dan spasial (Woessner dan Wiemer, 2005). Nilai ini dapat mengalami perubahan berdasarkan luas dan jangkauan area secara spasial dan temporal, *magnitude completeness* mengalami reduksi bila kemampuan deteksi gempa meningkat (Das dkk, 2012). Untuk menentukan *magnitude completeness* hal pertama yang harus dilakukan adalah memisahkan gempa utama dengan gempa-gempa pengikutnya (Wiemer dkk, 2002) dalam (Hermizal, 2014).

2.7 Hubungan Frekuensi dan Magnitudo Gempabumi

Magnitudo merupakan ukuran kekuatan gempabumi berdasarkan energi yang dilepaskan di hiposenter. Konsep magnitudo gempabumi sebagai skala kekuatan relatif hasil dari pengukuran fase amplitudo yang dikemukakan pertama kali oleh K.Wadati dan C.Richter sekitar pada tahun 1930. Kekuatan gempabumi dinyatakan dalam besaran magnitudo dalam skala logaritma basis 10. Suatu nilai magnitudo diperoleh sebagai hasil analisis tipe gelombang seismik tertentu (berupa rekaman getaran tanah yang tercatat paling besar) dengan memperhitungkan koreksi jarak stasiun pencatat ke episenter (Abidin, 2014).

Gutenberg dan Richter (1949) menggambarkan hubungan frekuensi dan magnitudo gempabumi dalam sebuah persamaan empiris sebagai berikut :

$$\log N (M) = a - bM \quad (2.1)$$

Dimana N merupakan frekuensi gempa, M merupakan magnitudo, a dan b merupakan konstanta. Dari bentuk persamaan tersebut dapat dilihat bahwa frekuensi gempa N dan magnitudo M memberikan pengaruh terhadap konstanta a dan b. Konstanta tersebut memberikan gambaran tentang situasi seismik suatu wilayah, nilai a berhubungan dengan tingkat keaktifan sementara nilai b berhubungan dengan aktifitas *stress* lokal yang dipengaruhi oleh M (magnitudo) (Hermizal, 2014).

Parameter nilai b dapat ditentukan dengan metode maximum likelihood, metode maksimum likelihood merupakan suatu metode statistik yang sangat sesuai untuk memecahkan masalah tentang seismologi. Menurut Aki (1965) dalam (Tauladani, 2015), metode ini dipergunakan untuk masalah hubungan antara frekuensi gempabumi dan magnitudo. Untuk mencari nilai b menggunakan persamaan yang diberikan oleh utsu (1965), yaitu

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0.4343}{\bar{M} - M_0} \quad (2.2)$$

Keterangan :

\bar{M} = rata-rata magnitudo

M_0 = nilai minimum magnitudo

$\log e = 0.4343$

Sementara untuk nilai a dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$a = \log N (M \geq M_0) + \log(b \ln 10) + M_0 \hat{b} \quad (2.3)$$

Untuk distribusi kumulatif

$$a' = a_1 - \log (b \ln 10) \quad (2.4)$$

$$a_1 = a - \log T, \quad \text{dan} \quad a'_1 = a' - \log T \quad (2.5)$$

2.8 Arti fisis Nilai a dan Nilai b

2.8.1 Nilai a (a value)

Nilai a adalah nilai yang menunjukkan keaktifan seismik, keaktifan seismik dipengaruhi oleh tingkat kerapuhan batuan dan menyatakan tingkat seismisitas di suatu daerah yang diamati. Nilai a bergantung dari :

- a) Periode pengamatan
- b) Luas daerah pengamatan dan
- c) Seismisitas di daerah tersebut

Makin besar nilai a yang pada suatu daerah, maka daerah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi begitu juga sebaliknya untuk nilai a yang kecil maka aktivitas seismiknya rendah (Abidin, 2014).

2.8.2 Nilai b (b value)

Nilai b merupakan parameter tektonik suatu daerah, nilai b memiliki hubungan yang erat dengan tektonik daerah yang diamati, aktifitas gempabumi tergantung dari sifat batuan di daerah setempat. Nilai b dapat menunjukkan tingkat kerapuhan batuan, makin besar nilai b maka makin besar tingkat kerapuhan batumannya, dan semakin besar pula peluang terjadinya gempabumi. Sedangkan untuk nilai b yang semakin kecil memiliki kekuatan untuk menahan gaya yang lebih besar, sehingga dibutuhkan energi yang besar untuk menghasilkan gempabumi. Nilai b merupakan parameter tektonik yang menunjukkan jumlah relatif dari gempabumi yang kecil hingga gempabumi yang besar, nilai b biasanya mendekati 1. Menurut beberapa ahli menyatakan bahwa nilai b ini konstan dan diperkirakan nilainya sekitar 1. Jika terdapat perbedaan maka lebih disebabkan oleh perbedaan data dan metode perhitungan yang digunakan. Meskipun sebagian besar ahli berpendapat bahwa nilai b bervariasi terhadap daerah dan kedalaman gempa, serta bergantung pada heterogenitas batuan yang menjadi sumber gempa (Idha, 2014)

Beberapa pendapat arti fisis nilai b menurut beberapa ahli yaitu: nilai b tidak tergantung pada periode pengamatan, terlihat pada nilai b berbeda untuk satu daerah dan daerah lainnya, menurut Mogi dan Miyamura (1962) nilai b berkaitan dengan karakteristik tektonik dari suatu daerah pengamatan dan menunjukan parameter seismotektoniknya, nilai b bergantung pada karakter tektonik dan tingkat *stress* atau struktur material suatu wilayah. Sedangkan (Scholz, 1968; Hatzidimitriou, 1985; Tsapanos, 1990), bahwa variasi nilai b suatu daerah pengamatan

berhubungan dengan heterogenitas struktur dan distribusi *stress* wilayah tersebut. Menurut Scholtz (1968) dan Biswas (1988), parameter yang mempengaruhi besar nilai b adalah akumulasi *stress* yang bekerja pada batuan, nilai b rendah berasosiasi dengan *shear stress* yang tinggi, begitu pula sebaliknya. Secara empiris besar nilai b memiliki rentang dari 0.4-2.0. Wiemer dan Wyss (2002) menyatakan bahwa sebagian sesar dengan nilai b rendah dapat diinterpretasi sebagai daerah *asperities* yaitu daerah yang memiliki konsentrasi *stress* yang tinggi dengan besar nilai b pada *asperities* yaitu 0.4-0.7. Menurut Wiemer & Wyss (1977), Daerah *creeping* yaitu daerah sesar yang aktif mengalami slip dan tidak mengakumulasi *stress*, memiliki nilai b bernilai dari 1.2 (Wiemer & Wyss, 1977). Dalam (Abidin, 2014).

2.9 Seismisitas Suatu Wilayah

Seismisitas menyatakan ukuran untuk membandingkan aktivitas seismik atau pola aktivitas seismik suatu daerah dengan daerah lain. Untuk melihat pola aktivitas ini dapat dilakukan dengan cara kuantitatif. Pengamatan pola aktivitas secara kuantitatif dapat dilakukan dengan menganalisis berbagai besaran gempa dengan menggunakan statistik. Besaran - besaran tersebut diantaranya adalah intensitas, energi dan hubungan frekuensi kejadian dengan magnitudo gempa.

Indeks seismisitas adalah nilai yang menggambarkan jumlah total event gempa yang terjadi dalam waktu satu tahun dengan magnitudo lebih besar dari magnitudo M_0 pada suatu kawasan atau daerah pengamatan, dengan indeks nilai gempa bumi yang pernah terjadi pada suatu wilayah dapat diperkirakan waktu terjadinya gempa dengan kekuatan yang sama akan terulang lagi, sehingga kerusakan yang terjadi mungkin dapat diminimalisir (Lira, 2017).

Untuk mencari indeks seismisitas menggunakan persamaan

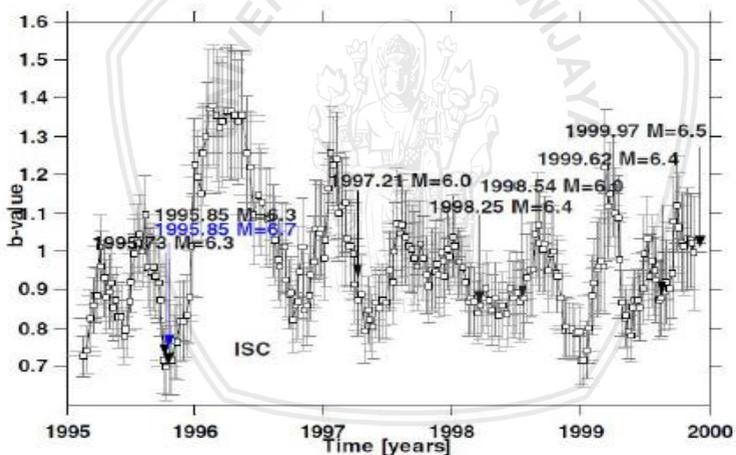
$$N_1(M) = 10^{a_1' - bM} \quad (2.6)$$

Setelah mendapatkan indeks seismisitas maka dapat dicari periode ulang gempabumi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\theta = \frac{1}{N_1(M)} \text{ tahun} \quad (2.7)$$

2.10 Variasi b Value Terhadap Waktu (Temporal)

Berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk meneliti hubungan potensial b value sebagai *precursor* gempabumi pada jangka waktu pendek, menengah dan jangka panjang. Gempabumi seringkali didahului dengan kenaikan nilai b pada jangka menengah yang diikuti penurunan pada jangka waktu beberapa minggu atau bulan sebelum terjadi gempabumi. Rikitake (1976) berpendapat bahwa banyak contoh penurunan b value yang menandai terjadinya gempabumi. Peneliti lain seperti Lie et al (1978) menyelidiki perubahan b value untuk prediksi gempabumi besar, bahwa b value merupakan indikator umum keadaan *stress* pada daerah *focal*. Nuannin et al. (2005) dalam Happrobo (2014) telah menghitung variasi b value terhadap waktu daerah Andaman-Sumatera menggunakan *catalog International Seismological Center (ISC)* tahun 1964-2003 (Gambar 2.5) yang menunjukkan penurunan b value pada gempabumi ($M_w \geq 6.5$).



Gambar 2.8. Nilai b terhadap waktu di wilayah Andaman (1995-2000), katalog ISC (Nuannin et al, 2005) dalam (Happrobo, 2004).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 20 April sampai pada tanggal 31 Agustus 2016 di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika kelas III Ternate yang berlokasi di Ternate, Maluku Utara.

3.2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Laptop (acer) OS *Windows 7*
2. Perangkat lunak yang berupa Microsoft Excel 2007, Notepad++, Matlab r2010, ZMAP

3.3 Pengumpulan Data

Data gempa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, dan juga diambil dari situs <http://repogempa.bmkg.go.id>. Data gempa yang diperoleh yaitu 11301 data, dengan rentang magnitudo 1.1 - 7.7 SR, berkedalaman antara 2 – 732 km. Data yang diperoleh kemudian dipisah sesuai kedalaman, kedalaman gempabumi yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu 2-60 km. Gempabumi dengan kedalaman dangkal merupakan gempa yang dianggap paling berpotensi untuk memberikan dampak secara langsung. Hasil dari pemisahan tersebut diperoleh 8463 data. Pada skripsi ini, data yang dilampirkan hanya pada tahun 1975 – 2015.

3.4. Pengolahan Data

3.4.1 Konversi Magnitudo

Kejadian gempa dapat diketahui dengan mengetahui besarnya magnitudo gempa yang diukur menggunakan berbagai skala magnitudo seperti magnitudo lokal (M_L) atau dikenal sebagai Skala Richter (SR), magnitudo gelombang permukaan (M_S), magnitudo gelombang badan (M_b) dan magnitudo momen (M_W).

Untuk menganalisis nilai a dan nilai b diperlukan data-data gempa yang memiliki skala magnitudo yang sama. Dengan demikian data-data gempa yang dikumpulkan dari berbagai katalog perlu dikonversi ke dalam satu skala magnitudo tertentu. Pada penelitian ini magnitudo dikonversi ke skala *magnitude body* (M_b) dengan menggunakan rumus dari tim revisi peta gempa Indonesia 2010:

$$M_b = 0.125 M_L^2 - 0.389 M_L + 3.513.$$

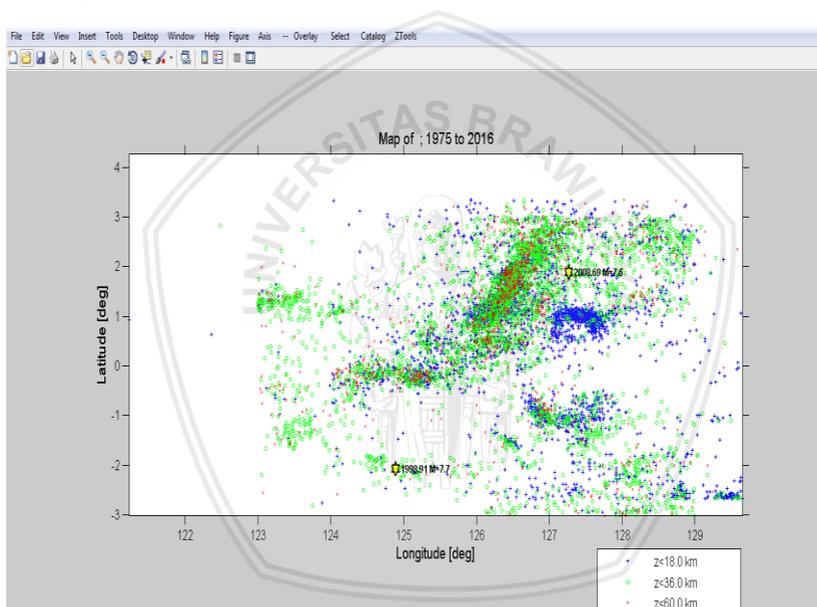
3.4.2 Penentuan Nilai b, Nilai a Dan Periode Ulang Gempabumi.

Penentuan nilai b dan nilai a dilakukan dengan menggunakan software ZMAP yang dijalankan pada MATLAB. Data yang dimasukan untuk menganalisa nilai b dan nilai a serta periode ulang adalah data dengan format *.dat. Format * dat diperoleh ketika data telah dimasukkan dalam notepad ++. Data tersebut berisi semua event gempa yang terdiri dari *longitude*, *latitude*, tahun, bulan, tanggal, magnitudo, kedalaman, jam dan menit secara berurutan. Pada penelitian ini parameter nilai b dan nilai a dianalisis secara spasial, dan temporal.

Untuk mengetahui nilai a dan nilai b secara spasial wilayah Maluku Utara dibagi menjadi 4 daerah, fungsi dari pembagian tersebut untuk membandingkan tingkat keaktifan gempa pada tiap-tiap daerah yang berada di wilayah Maluku Utara. Untuk mendapatkan nilai a dan nilai b pada setiap daerah, hal yang pertama dilakukan yaitu event gempa yang telah dikoversi sebelumnya dimasukkan ke dalam software ZMAP kemudian lakukan *decluster*, *decluster* tersebut berfungsi untuk memisahkan gempa pendahulu (*foreshock*) dan gempa susulan (*aftershock*). Metode *decluster* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode *Reasenberg*, pemilihan penggunaan metode ini dikarenakan metode ini sering digunakan dalam tahap *decluster*. Setelah itu setiap daerah penelitian akan dibagi menjadi grid-grid, untuk tiap grid mengandung sejumlah kejadian gempabumi. Dalam penelitian ini, dipilih kriteria jumlah gempa yaitu $N = 50$ dengan $grid = 0.01^\circ \times 0.01^\circ$ yang disesuaikan dengan daerah penelitian. Setelah diperoleh hasil dari nilai a dan nilai b, maka langkah selanjutnya adalah memploting kurva

distribusi frekuensi *magnitude* untuk melihat *magnitude completeness* atau magnitudo terkecil yang terekam pada tiap-tiap daerah. Untuk memperoleh periode ulang gempa bumi di wilayah Maluku Utara dilakukan hal yang sama seperti pada mencari nilai b , yang membedakan di sini hanyalah pemetaan yang dilakukan mencakup keseluruhan wilayah Maluku.

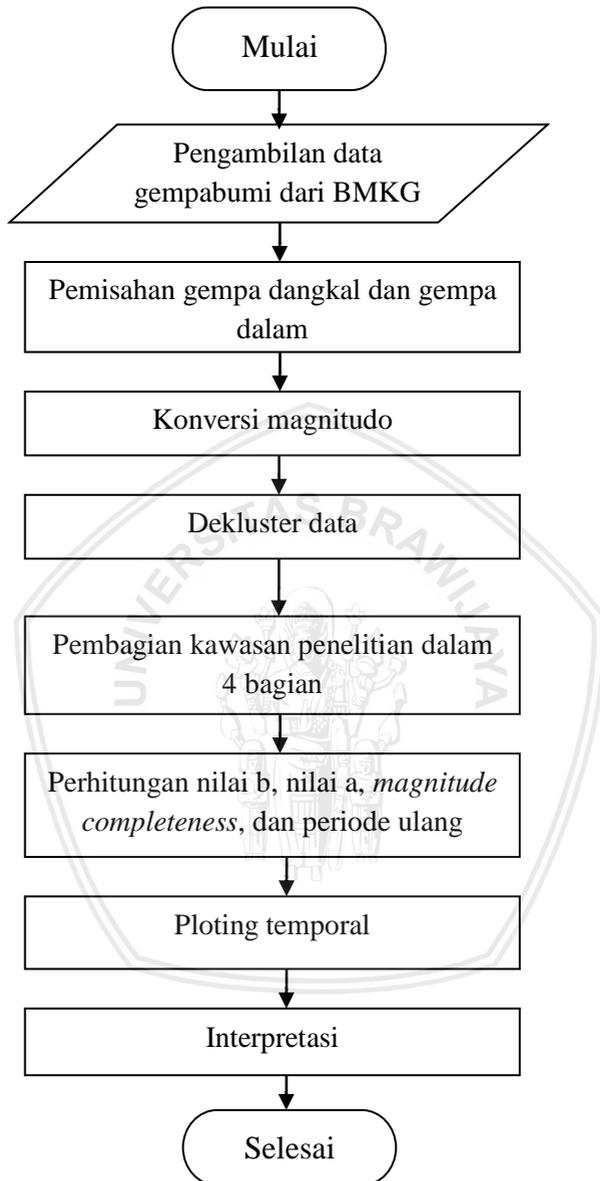
Langkah terakhir yaitu memploting nilai b terhadap waktu dalam bentuk temporal. Untuk mendapatkan hasil temporal nilai b maka parameter yang dimasukkan yaitu *sample window size*, *minimum number*, dan *overlap*. Pada penelitian ini *sample window* yang digunakan adalah 100, dengan *minimum number* 40 dan *overlap* 4.



Gambar 3.1. Tampilan utama pada ZMAP



Gambar 3.2. Wilayah penelitian.



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

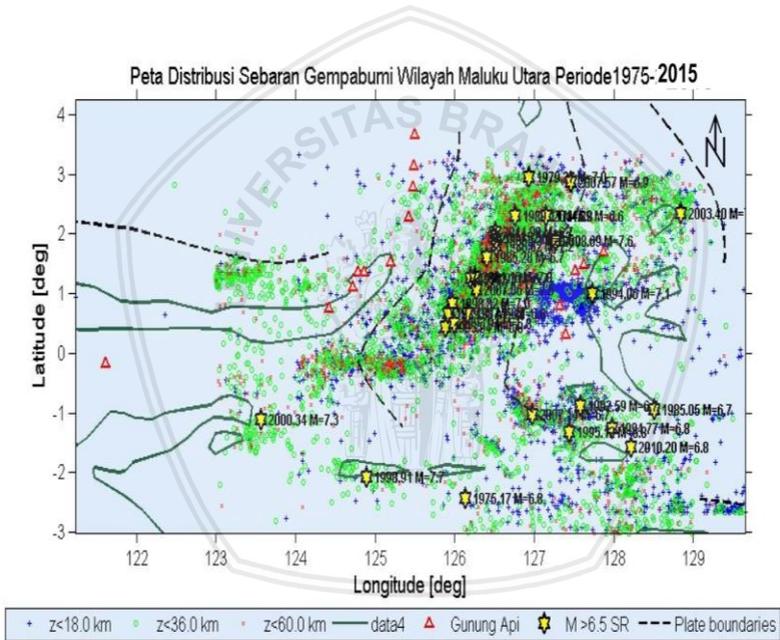


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

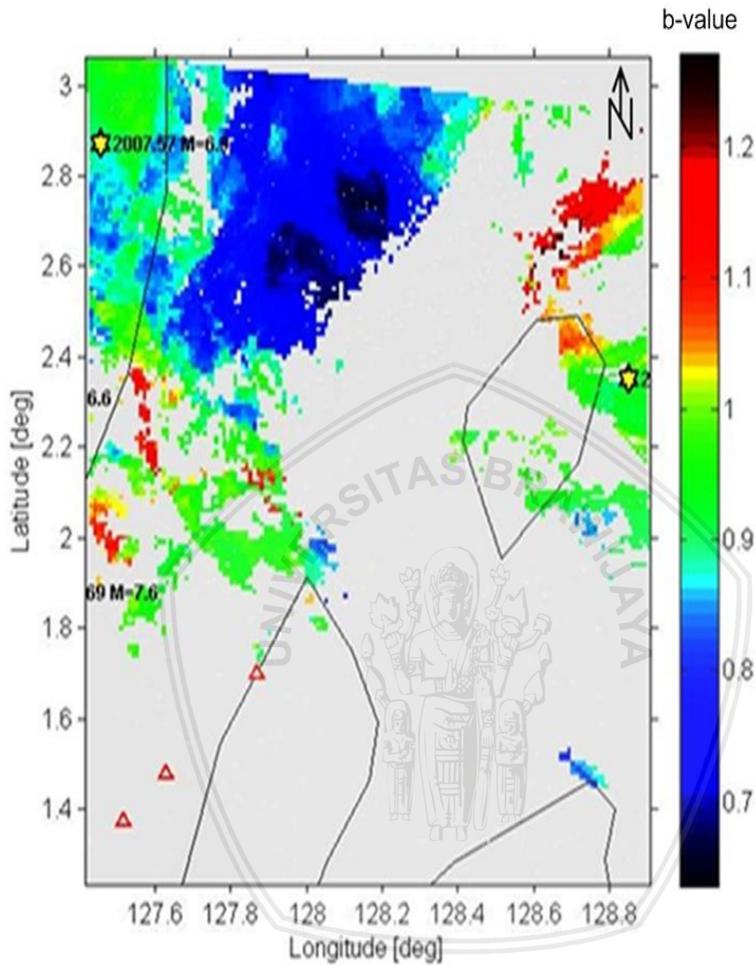
4.1 Hasil Dan Pembahasan Nilai a Nilai b

Analisa kegempaan di Maluku Utara pada periode 1975-2015 berdasarkan nilai a dan b memberikan gambaran tingkat keaktifan gempabumi dan tingkat kerapuhan batuan. Untuk mengetahui nilai a dan nilai b maka wilayah penelitian dibagi menjadi empat daerah, fungsi dari pembagian tersebut untuk mengetahui tingkat keaktifan gempabumi di wilayah Maluku Utara.

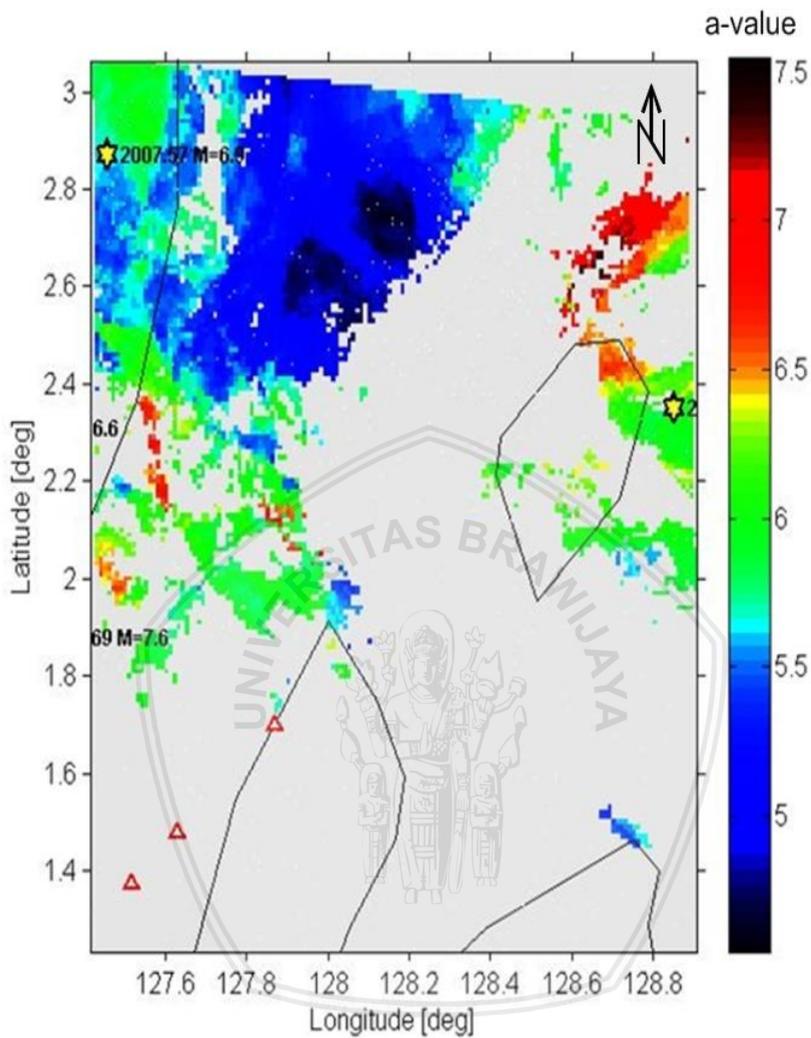


Gambar 4.1 Peta distribusi sebaran gempabumi wilayah Maluku Utara dengan kedalaman <60 km.

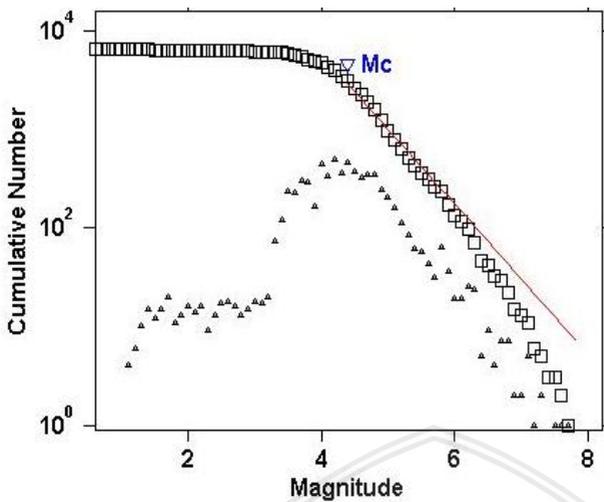
4.1.1 Daerah 1



Gambar 4.2 Peta spasial variasi nilai b di daerah 1.



Gambar 4.3 Peta spasial variasi nilai a di daerah 1.

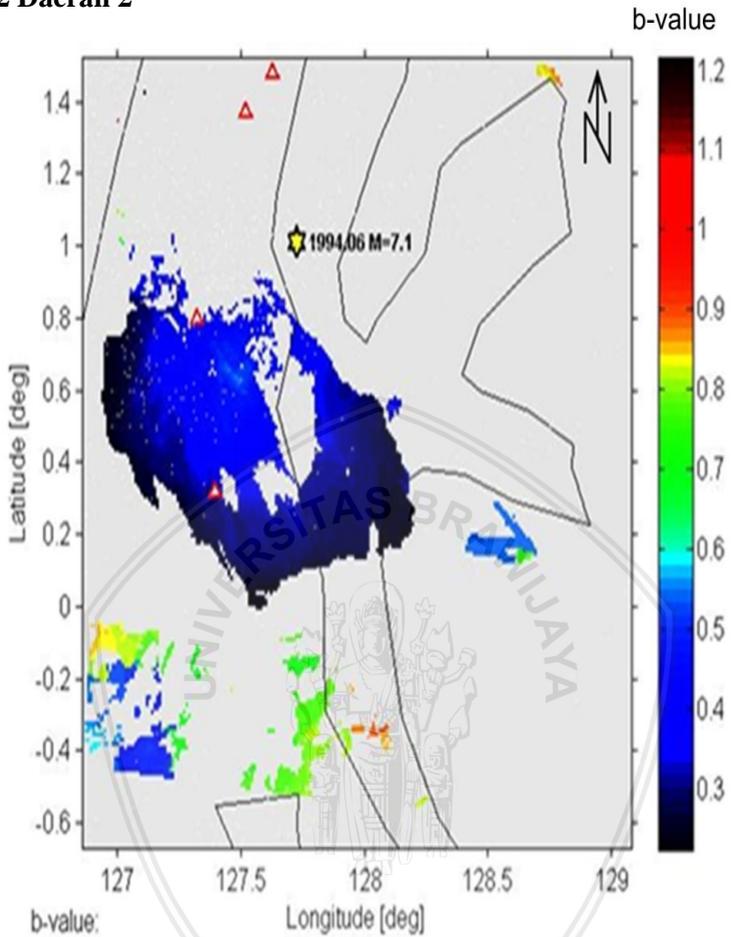


Maximum Likelihood Solution
 b-value = 0.763 +/- 0.01, a value = 6.82, a value (annual) = 5.21
 Magnitude of Completeness = 4.4

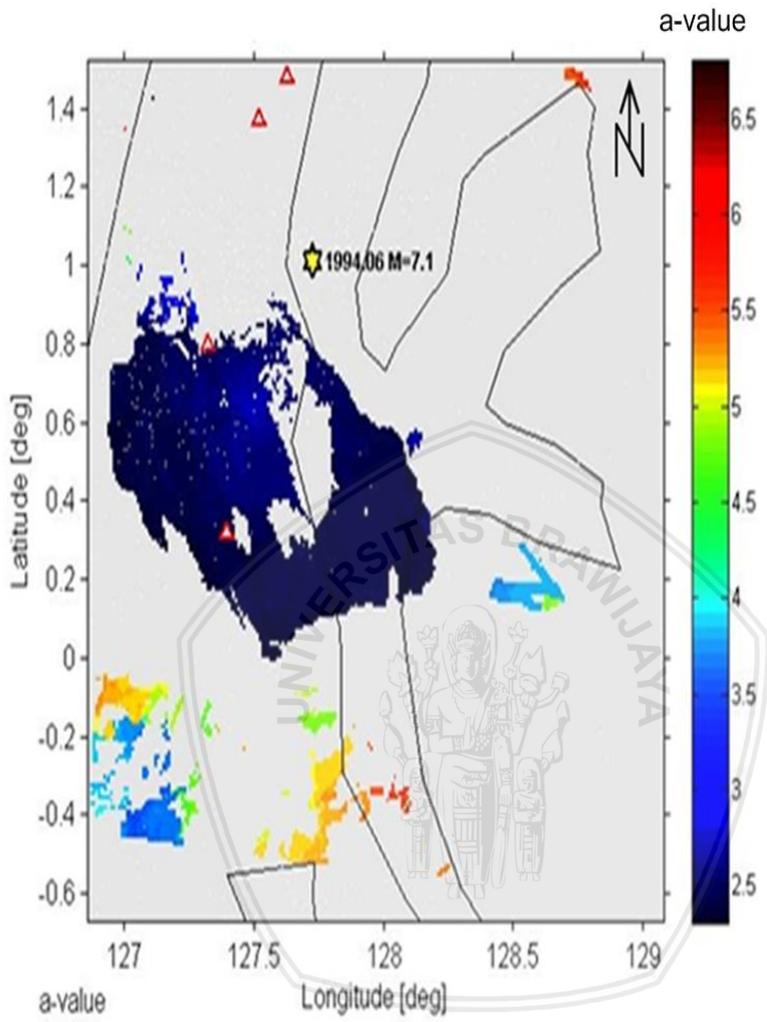
Gambar 4.4 Kurva distribusi frekuensi-magnitudo kegempaan di daerah 1.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat sebaran nilai b yang rendah mendominasi di daerah sebelah barat dari pulau Morotai atau lebih tepatnya di laut Maluku pada jalur *ridge* Talaud-Mayu, kawasan laut Maluku yang merupakan zona konvergensi dikenal sebagai kawasan dengan tingkat seismisitas yang tinggi, rendahnya nilai b di daerah ini diduga sebagai daerah dengan deposit *stress* lokal yang besar. Sementara nilai a yang tinggi justru tersebar di sekitar pulau Morotai yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Di sebelah utara dan timur merupakan daerah persinggungan antara lempeng laut Filipina dan laut Maluku yang menjalur dari arah utara. Dari kurva *Magnitude Completeness* diperoleh magnitudo 4.4, yang berarti bahwa magnitudo 4.4 tersebut merupakan gempa terkecil yang terekam oleh sistem jaringan seismometer. Secara umum seismisitas di utara bagian Halmahera (termasuk pulau Morotai) dipengaruhi oleh aktifitas lempeng laut Filipina yang menyebabkan pelepasan energi berkekuatan kecil, sementara potensi sumber gempa berkekuatan besar justru berasal dari aktifitas seismik di laut Maluku.

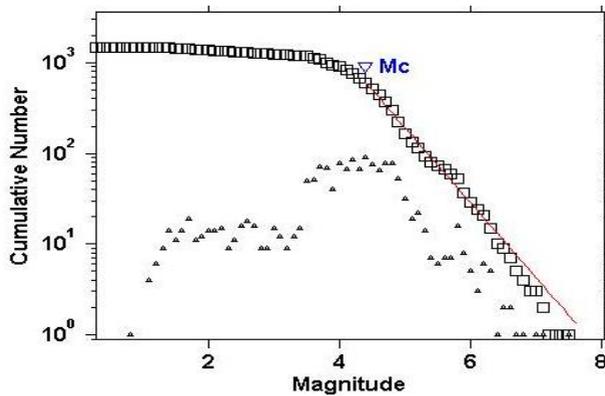
4.1.2 Daerah 2



Gambar 4.5 Peta spasial variasi nilai b di daerah 2.



Gambar 4.6. Peta spasial variasi nilai a di daerah 2.

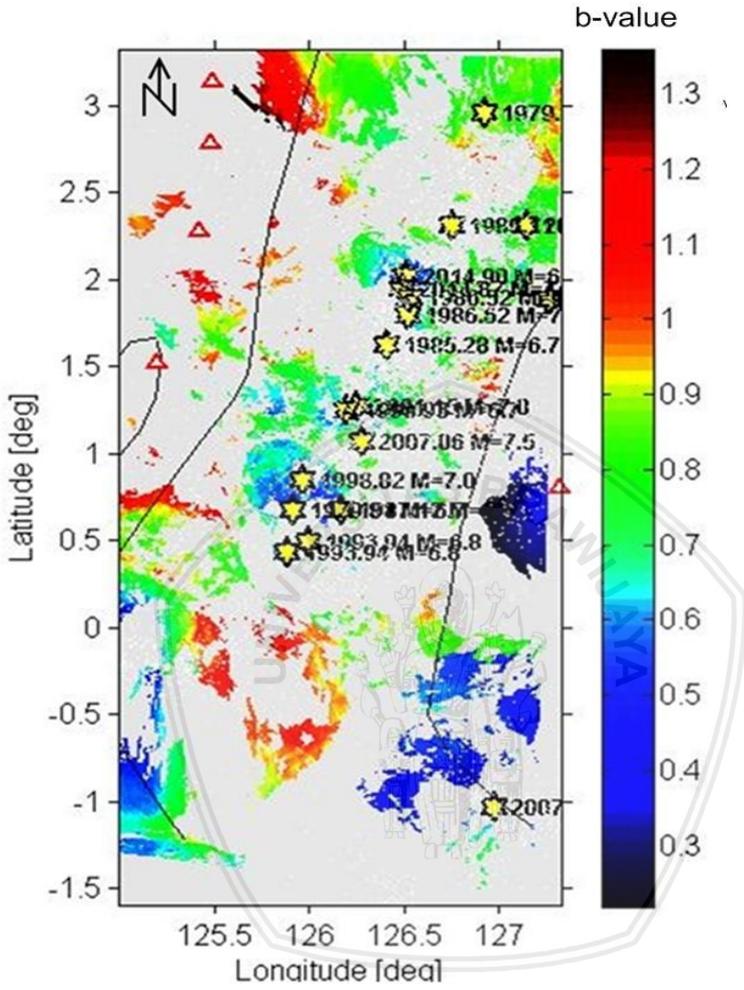


Maximum Likelihood Solution
 b-value = 0.829 ± 0.03 , a value = 6.43, a value (annual) = 4.82
 Magnitude of Completeness = 4.4

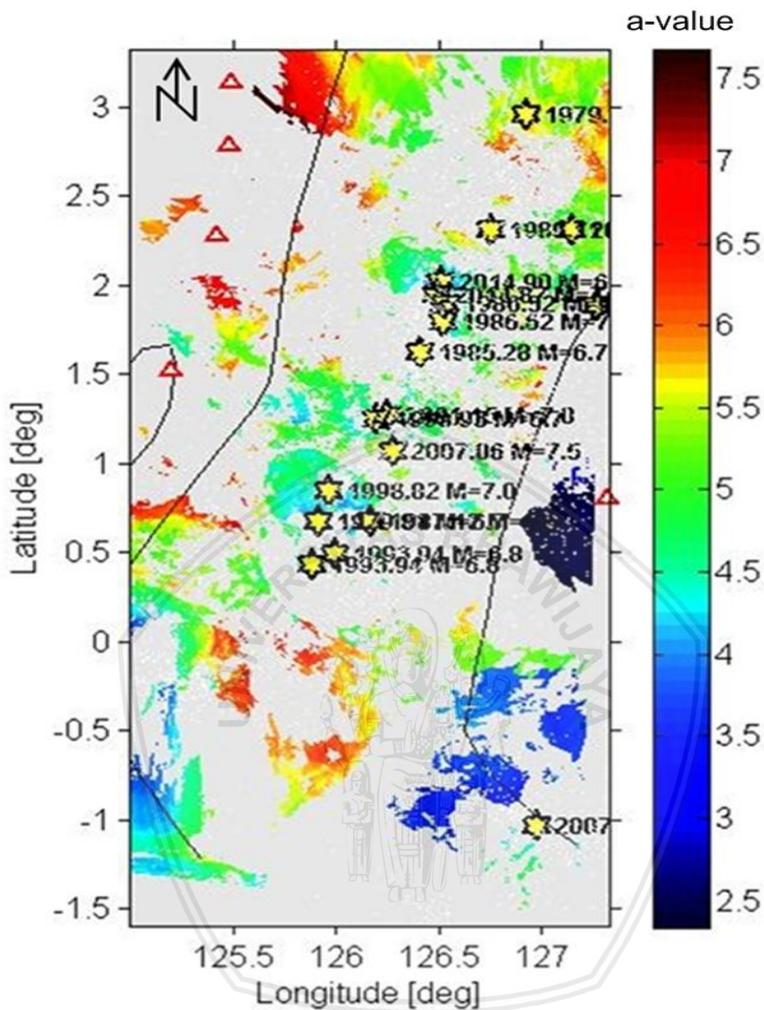
Gambar 4.7 Kurva distribusi frekuensi-magnitudo kegempaan di daerah 2.

Dari gambar 4.5 menunjukkan variasi nilai b yang rendah terkonsentrasi di sekitar pulau Ternate dan Jailolo. Jika dilihat dari rentang data yang digunakan, maka daerah yang memiliki nilai b rendah berada di sekitar kawasan gempabumi swarm di Jailolo yang mulai terjadi pada bulan November 2015. Gempabumi tipe swarm merupakan gempabumi dengan pelepasan energi berskala kecil yang terjadi secara terus menerus dalam jangka waktu yang cukup lama. Gempabumi tipe swarm merupakan suatu fenomena tektonik, yang menjadi pengecualian dalam analisis nilai b . Walaupun demikian dalam analisis ini menganggap bahwa daerah dengan nilai b rendah (gambar 4.5) memiliki struktur batuan yang mampu menampung energi daripada melepaskannya. Hal ini ditunjukkan dengan nilai a yang rendah (gambar 4.6), Selain itu nilai b dan nilai a pada daerah 2 tergolong rendah jika dibandingkan dengan yang lain, nilai b yang terdapat pada daerah ini yaitu sebesar 0.3-1.2 dan nilai a 2.5-6.5. Dilihat dari gambar 4.5 dan 4.6 kawasan yang memiliki nilai b dan nilai a yang tinggi berada pada kawasan sekitar Halmahera Selatan, hal ini menunjukkan bahwa kawasan sekitar Halmahera Selatan memiliki aktivitas gempabumi yang tinggi. Dari kurva distribusi frekuensi magnitudo diperoleh *magnitude completeness* 4.4, yang berarti bahwa magnitudo 4.4 tersebut merupakan gempa terkecil yang terekam oleh seismometer.

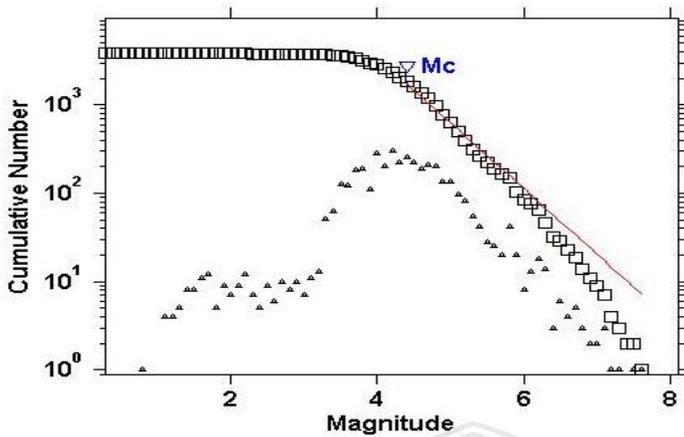
4.1.3 Wilayah 3



Gambar 4.8 Peta spasial variasi nilai b di daerah 3.



Gambar 4.9 Peta spasial variasi nilai a di daerah 3.

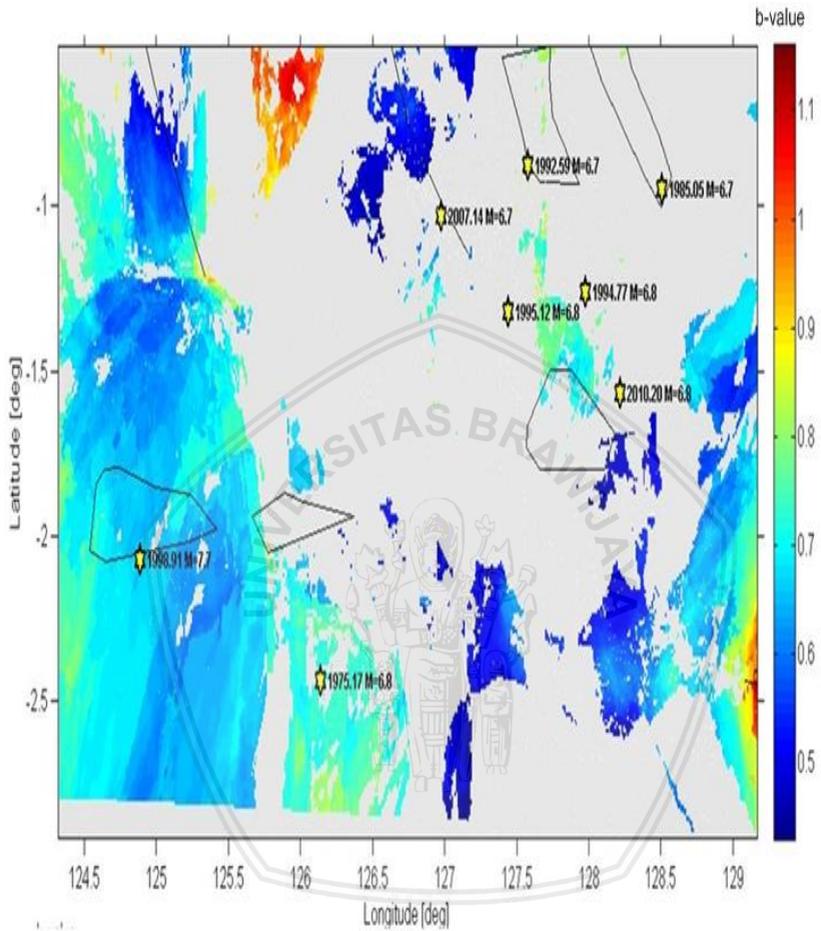


Maximum Likelihood Solution
 b -value = 0.743 ± 0.01 , a value = 6.51, a value (annual) = 4.89
 Magnitude of Completeness = 4.4

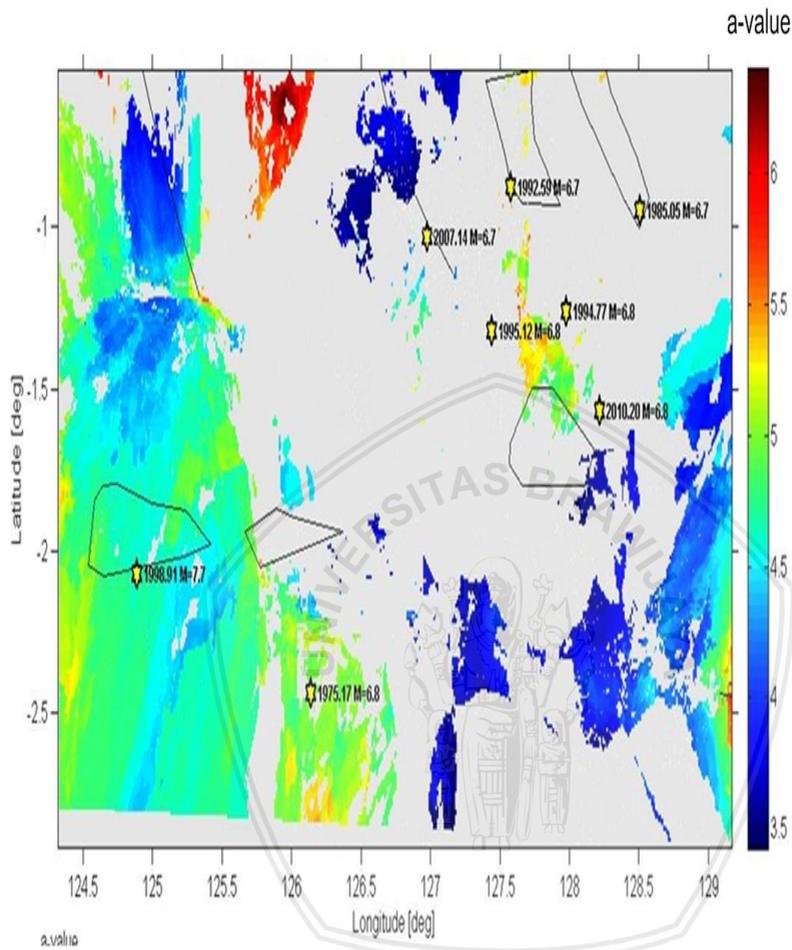
Gambar 4.10 Kurva distribusi frekuensi-magnitudo kegempaan di daerah 3.

Gambar 4.8 menunjukkan variasi spasial nilai b pada daerah 3. Dari hasil tersebut diketahui nilai b pada daerah 3 yaitu 0.3-1.3 sedangkan untuk nilai a yang ditunjukkan pada gambar 4.9 yaitu sebesar 2.5-7.5 dengan *magnitude completeness* yang diketahui dari kurva distribusi frekuensi magnitudo pada gambar 4.10 yaitu sebesar 4.4. Hal ini menunjukkan bahwa daerah 3 memiliki tingkat keaktifan gempabumi yang cukup tinggi di kawasan zona konvergensi di laut Maluku.

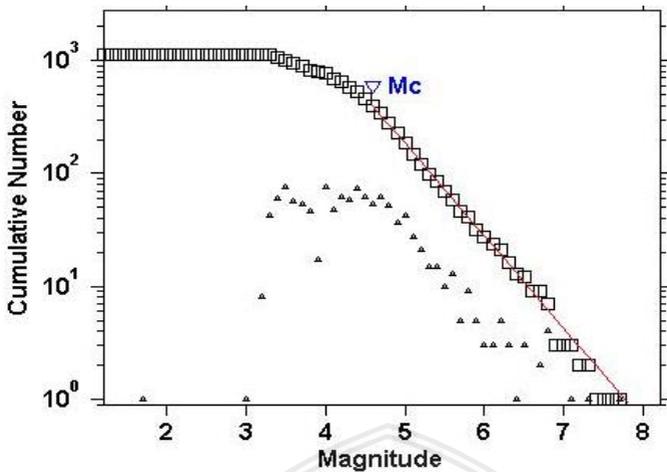
4.1.4 Daerah 4



Gambar 4.11 Peta spasial variasi nilai b di daerah 4.



Gambar 4.12 Peta spasial variasi nilai a di daerah 4.



Maximum Likelihood Solution
 b-value = 0.819 +/- 0.04, a value = 6.36, a value (annual) = 4.75
 Magnitude of Completeness = 4.6

Gambar 4.13 Kurva distribusi frekuensi-magnitudo kegempaan di daerah 4.

Gambar 4.9 menunjukkan variasi spasial nilai b di daerah 3. Dari hasil tersebut diketahui bahwa nilai b pada daerah 4 yaitu 0.5-1.1 dan nilai a yang ditunjukkan pada gambar 4.10 yaitu sebesar 3.5-6. Sedangkan untuk *magnitude completeness* atau magnitudo terendah yang terekam pada daerah 4 yang ditunjukkan pada gambar 4.11 yaitu sebesar 4.4. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa daerah yang memiliki nilai b terendah berada di lautan yang ditunjukkan pada warna biru, begitu juga dengan nilai a . Hal ini menunjukkan bahwa kawasan tersebut terjadi *stress* yang cukup tinggi dengan aktivitas kegempaan yang rendah. Adanya energi yang tersimpan memungkinkan adanya potensi gempa bumi besar pada kawasan tersebut. Sedangkan untuk kawasan yang memiliki nilai a dan nilai b yang tinggi terletak pada kawasan laut Maluku, hasil nilai a dan nilai b yang tinggi menunjukkan bahwa kawasan tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi dengan *stress* yang rendah sehingga kawasan tersebut rawan terjadinya gempa-gempa kecil.

Tabel 4.1. Nilai keaktifan gempabumi pada setiap daerah di wilayah Maluku Utara.

Daerah Penelitian	Nilai a	Nilai b	Tingkat keaktifan
Daerah 1 (Segmen pulau Morotai dan Halmahera bagian utara)	5-7.5	0.7-1.2	Sangat tinggi
Daerah 2 (Segmen pulau Halmahera)	2.5-6.5	0.3-1.2	Sangat rendah
Daerah 3 (Segmen laut Maluku)	2.5-7.5	0.3-1.3	rendah
Daerah 4 (Sesar Sula Sorong di Halmahera Selatan)	3.5-6.5	0.5-1.1	tinggi

Berdasarkan tabel 4.1, keaktifan gempabumi yang tinggi berada di daerah 1, dengan hasil nilai a dan nilai b yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan daerah yang lain. Jika dilihat dari variasi spasialnya yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dan 4.3, bahwa nilai a dan b yang tinggi berada di sekitaran pulau Morotai. Tingginya aktivitas seismik di kawasan tersebut diduga dipengaruhi oleh adanya aktivitas lempeng di laut Filipina. Nilai b yang tinggi menunjukkan bahwa tingkat *stress* lokal pada daerah ini cukup rendah, karena *stress* yang rendah, maka energi tidak di akumulasi akan tetapi langsung dilepaskan. Sehingga kawasan ini rawan akan terjadinya gempa-gempa kecil.

Daerah 4 memiliki nilai a dan b yang tinggi, jika dilihat pada tabel 4.1, nilai a dan nilai b yang tinggi di daerah 4 terdapat di kawasan laut Maluku, dan sekitar Sula Halmahera Selatan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dan 4.12. Kawasan laut Maluku merupakan kawasan zona konvergensi, selain itu daerah 4 juga dipengaruhi oleh sesar Sula Sorong, sehingga daerah 4 rawan akan terjadinya gempabumi. Dilihat dari hasil nilai a dan nilai b maka daerah 4 khususnya pada kawasan laut Maluku dan kawasan sekitar sesar Sula memiliki nilai a dan nilai b yang tinggi, ini menunjukkan

bahwa kedua kawasan tersebut memiliki keaktifan gempa bumi yang tinggi dengan tingkat *stress* yang rendah.

Daerah 3 memiliki nilai *a* dan nilai *b* yang rendah, hal ini ditunjukkan pada tabel 4.1, nilai *b* yang diperoleh pada daerah 1 menandakan bahwa kawasan laut Maluku memiliki tingkat *stress* yang tinggi. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan daerah 2, daerah 3 masih memiliki keaktifan gempa yang cukup tinggi. Laut Maluku merupakan zona konvergensi atau zona tumbukan antar lempeng, hal inilah yang membuat kawasan laut Maluku rawan akan terjadinya gempa bumi. Jika dilihat dari nilai *a* dan nilai *b* maka keaktifan gempa bumi di kawasan ini tidak begitu tinggi yang berarti bahwa tingkat *stress* pada batuan di kawasan ini cukup tinggi.

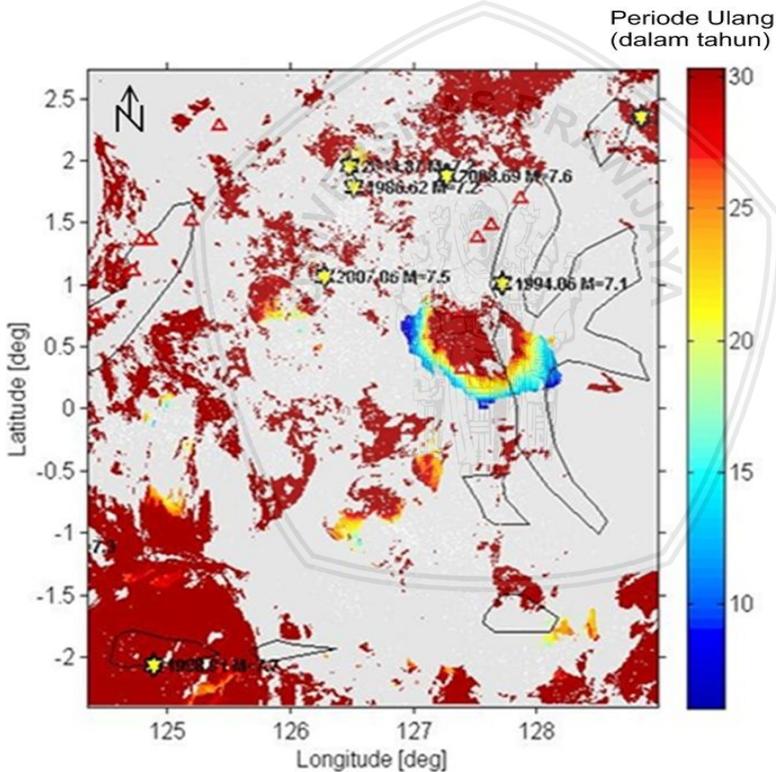
Daerah 2 merupakan kawasan yang mencakup pulau Halmahera, jika dilihat dari hasil nilai *a* dan nilai *b* yang ditunjukkan pada tabel 4.1. Jika dibandingkan dengan daerah lain, nilai *a* dan nilai *b* di daerah ini sangat rendah, hal ini menunjukkan bahwa tingkat aktivitas kegempaan atau nilai *a* di daerah ini cukup rendah. Nilai *b* yang rendah berkorelasi dengan tingkat *stress* tinggi, yang berarti bahwa daerah yang memiliki nilai *b* rendah memiliki potensi untuk terjadi gempa bumi besar dibandingkan dengan daerah yang memiliki nilai *b* dan nilai *a* tinggi. Nilai *b* yang rendah menunjukkan bahwa adanya akumulasi energi sehingga pada saat batuan tidak mampu menahan energi tersebut maka akan dilepaskan dalam bentuk gempa bumi berkekuatan besar.

Menurut Raharjo (2016) Suatu daerah dengan variasi spasial nilai *b* yang rendah dapat disebut juga sebagai daerah *asperities*, *asperities* merupakan daerah seismik aktif yang masih terkunci (*locked zone*) yang dapat membangkitkan gempa bumi besar dan merusak. Dari hasil nilai *b* dan nilai *a* maka hal ini sesuai dengan teori yang telah dijelaskan sebelumnya. Menurut beberapa ahli mengatakan bahwa nilai *b* adalah konstan dan bernilai 1, jika terdapat perbedaan hal tersebut disebabkan oleh perbedaan data yang digunakan dan metode perhitungan yang berbeda (Rusdin A, 2009) dalam (Asnita, 2016).

Pada dasarnya sifat penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewati. Batuan elastik yang mengalami *stress* akan terdeformasi atau mengalami perubahan bentuk.

Perubahan tersebut biasanya disebut dengan regangan atau dalam ilmu kebumihan disebut karapuhan batuan. Gelombang seismik yang merambat di batuan yang rapat atau tingkat kerapuhan batuan rendah maka kecepatan merambatnya lebih kecil dibandingkan dengan batuan yang memiliki tingkat kerapuhan batuan yang tinggi. Dengan kecepatan merambat yang kecil mengakibatkan penumpukan energi yang dihasilkan juga akan lebih besar. Penumpukan energi secara terus menerus pada batuan dalam jangka waktu lama akan menyebabkan batuan tersebut tidak mampu lagi menahan maka akan menimbulkan *stress* pada batuan (Mutiarani, 2013).

4.2 Periode Ulang Gempabumi



Gambar 4.14 Peta sebaran spasial variasi periode ulang gempabumi dengan magnitudo ≥ 7 di wilayah Maluku Utara periode tahun 1975-2015.

Suatu kejadian gempabumi dapat diperkirakan dengan magnitudo tertentu. Pada penelitian ini magnitudo yang digunakan adalah magnitudo ≥ 7 , magnitudo ≥ 7 dipilih karena efek yang dihasilkan dari gempa tersebut dapat berpotensi tinggi merusak. Hasil periode ulang gempabumi diperoleh dari hasil perhitungan nilai b dan nilai a yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil tersebut menunjukkan periode ulang gempabumi pada tahun 1975-2015 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa gempabumi dengan magnitudo ≥ 7 kemungkinan dapat terjadi pada rentang tahun kurang lebih dari 10-30 tahun yang akan datang. Hasil variasi spasial periode ulang gempabumi tersebut berkorelasi dengan nilai a dan nilai b yang rendah. Nilai b yang rendah akan berasosiasi dengan kondisi *stress* lokal yang tinggi. Kondisi *stress* lokal yang tinggi dapat berpotensi terjadinya gempabumi besar di waktu yang akan datang, dan biasanya akan memiliki periode ulang gempabumi yang panjang. Kondisi *stress* lokal yang tinggi disuatu wilayah memiliki kondisi medium homogenitas batuan yang tinggi, hal ini berarti bahwa wilayah tersebut memiliki kondisi batuan yang cukup kuat untuk menahan tekanan sedangkan sebaliknya untuk kondisi *stress* yang rendah.

Tabel 4.2 Perhitungan periode ulang gempabumi secara keseluruhan di wilayah Maluku utara dengan magnitudo ≥ 6 dan ≥ 7

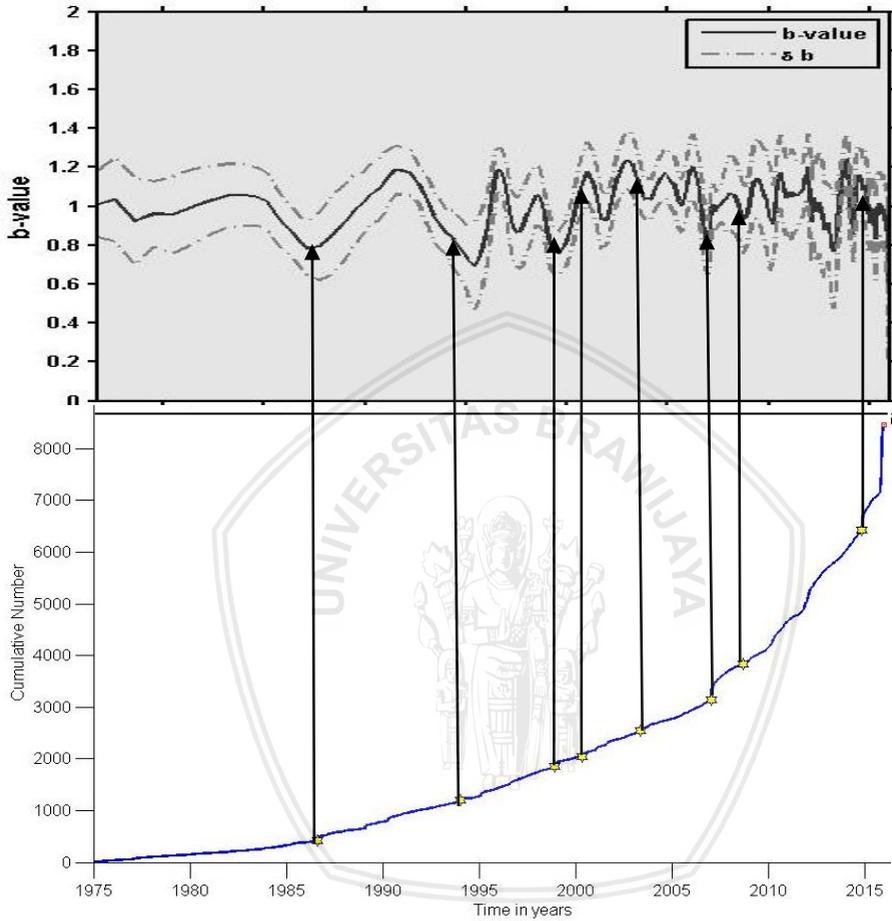
M	$N_1(M)$ Indeks seismisitas	θ Periode ulang
6	3.2534	0.3
6.1	2.5547	0.4
6.2	2.0061	0.5
6.3	1.5752	0.6
6.4	1.2369	0.8
6.5	0.9713	1
6.6	0.7627	1.3
6.7	0.5989	1.7
6.8	0.4703	2.1
6.9	0.3693	2.7
7	0.1951	3.4
7.1	0.0866	4.3

7.2	0.068	6
7.3	0.1404	7.12
7.4	0.068	9
7.5	0.0329	11.5
7.6	0.0679	14.7
7.7	0.05338	18.7
7.8	0.04191	23.8
7.9	0.03291	30.4

Dari hasil perhitungan periode ulang gempa bumi secara manual, diperoleh bahwa gempa bumi dengan magnitudo ≥ 7 diperkirakan dapat terjadi pada kurang lebih 4-30 tahun yang akan datang. Hasil tersebut bergantung pada besarnya magnitudo, karena setiap magnitudo memiliki periode ulang yang berbeda-beda. Jika dihubungkan dengan hasil variasi spasial, periode ulang gempa bumi pada gambar 4.14, bahwa hasil perhitungan manual periode ulang gempa bumi memiliki kesamaan hasil, dimana hasil spasial yang diperoleh sekitar kurang lebih dari 10-30 tahun yang akan datang.



4.3. Variasi Temporal Nilai b.



Tgl/bln/thn	Mag
14/8/1986	7.2
21/1/1994	7.1
29/11/1998	7.7
4/5/2000	7.3
26/5/2003	7.1
21/1/2007	7.5
11/9/2008	7.6
15/11/2014	7.2

Gambar 4.15. Grafik hubungan antara kejadian gempabumi dengan perubahan nilai b di wilayah Maluku Utara, simbol berwarna kuning menunjukkan kejadian gempa dengan Magnitudo $M \geq 7.0$, beserta tabel waktu kejadian gempabumi.

Analisis temporal nilai b digunakan untuk melihat pola perubahan nilai b terhadap waktu, untuk melihat tanda-tanda sebelum terjadinya gempabumi besar atau biasanya disebut *precursor* (Tauladani, 2015). Variasi nilai b secara umum akan menurun sebelum terjadinya gempabumi besar seperti yang ditunjukkan pada (gambar 4.15). Penurunan nilai b tampak jelas pada gempabumi tahun 1986, 1994, 1998, 2007, 2008, dan 2014, pada tahun-tahun tersebut dapat dilihat bahwa adanya penurunan nilai b saat gempabumi besar terjadi. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Rohadi (2008), dalam Ngadmanto (2010) menyatakan bahwa bahwa gempa besar akan didahului kenaikan nilai b yang kemudian di ikuti penurunan nilai b sebelum kejadian. Selain itu ada beberapa gempabumi besar yang tidak ditandai penurunan nilai b seperti pada tahun 2000, 2003 dan 2015, menurut Rohadi (2015), gempabumi yang tidak mengalami penurunan kemungkinan disebabkan oleh pemilihan *window* ruang yang kurang tepat. Pada gambar 4.15 perubahan temporal dari waktu ke waktu memiliki perbedaan yang signifikan, di mana perubahan tersebut sangat berbeda dari tahun 1980an-1995 dengan tahun 2000-2015. Perbedaan tersebut disebabkan karena data yang diperoleh tahun terbaru lebih banyak jika dibandingkan dengan tahun yang lama. Banyaknya data yang terekam bergantung dari alat yang digunakan dalam perekaman data gempabumi. Alat tersebut terus mengalami penambahan sehingga mampu mendeteksi lebih banyak

gempabumi yang terjadi. Dalam analisis temporal nilai b yang dilakukan, belum mampu dijadikan analisis tanda-tanda awal sebuah gempabumi secara pasti. Akan tetapi dapat memberikan informasi untuk mewaspadaikan kenaikan dan penurunan nilai b untuk mengindikasikan terjadinya gempabumi besar.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Nilai b yang diperoleh di wilayah Maluku Utara yaitu 0.3-1.2 dan nilai a yaitu 2.5-7.5. Kawasan yang memiliki nilai b dan nilai a tertinggi berada pada daerah 1, dengan nilai b 0.7-1 dan nilai a 5-7.5. Sedangkan untuk kawasan yang memiliki nilai b dan nilai a yang rendah yaitu terletak di daerah 2 dengan nilai b 0.3-1.2 dan nilai a 2.5-6.5. Hal ini menunjukkan bahwa kawasan sekitar Morotai (daerah 1) memiliki keaktifan gempabumi yang tinggi. Sedangkan kawasan sekitar Ternate dan Jailolo (daerah 2) memiliki nilai b dan nilai a rendah, yang berarti bahwa kawasan tersebut memiliki keaktifan gempabumi rendah dengan tingkat *stress* tinggi yang berpeluang untuk terjadinya gempabumi besar di waktu yang akan datang.
2. Periode ulang gempabumi dengan $M \geq 7$ pada periode tahun 1975-2015 di wilayah Maluku Utara yaitu berkisar kurang lebih dari 10 sampai 30 tahun.
3. Secara temporal variasi nilai b akan mengalami penurunan sebelum terjadinya gempabumi besar. Penurunan nilai b yang paling signifikan terjadi pada tahun 1986, 1994, 1998, 2007, 2008, dan 2014.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lanjutan dengan menambahkan data yang lebih lama hingga yang terbaru agar perubahan nilai b dan nilai a dapat teramati perubahannya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z.2014. *Probabilitas Tingkat Resiko Gempabumi Tektonik Di Wilayah Nanggroe Aceh Darussalam Tahun 1980-2013*. Jakarta: Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Abdillah.2010.*Analisis Keaktifan Dan Resiko Gempabumi Pada Zona Subduksi Daerah Pulau Sumatera Dan Sekitarnya Dengan Metode Least Square*.Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Asnita Warni, sugiyanto D, Rusydy I.2016.*Kajian Statistisk Seismisitas Kawasan Sumatera*.Jurnal Natural Vol.16, No.2, Tahun 2016.
- Daryono.2014.*Zona Rawan Gempabumi Dan Tsunami Maluku Utara*. <https://daryonobmkg.wordpress.com/2015/11/22/catatan-sejarah-gempabumi-dan-tsunami-maluku-utara/>. tanggal akses 18 Juli 2016
- Elnashai, S.A dan Sharno, D.L.2008.*Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Fulki, Ahmad.2011. *Analisis Parameter Gempa, b Value Dan PGA di Daerah Papua*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah
- Happrobo, Satrio.2014.*Variasi B-Value Terhadap Ruang Dan Waktu Sebagai Precursor Gempabumi Daerah Andaman-Sumatera*. Aceh : Unsyiah.
- Hasanah, I. 2015. *Penentuan Peak Ground Acceleration (PGA) Dan Kerentanan Seismik Daerah Blawan-Ijen Jawa Timur Dengan Metode Fukushima-Tanaka*.Malang : Universitas Brawijaya
- Hermizal.2014.*Analisis Kegempaan Di Maluku Utara Berdasarkan Distribusi Hiposenter Dan Nilai-b*.Bandung :Institut Teknologi Bandung.

Idha Resa.2014.*Analisis Perubahan b-value Secara Temporal Dan Spasial Di Wilayah Sumatera Utara*. Jakarta: Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika.

Irsyam, M, Sengara, I.W.,Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Hilman, D., KERTapati, E., Meilano I., Asrurifak M., Ridwan, M., dan Suhardjono (Tim Revisi Gempa Indonesia 2010).2010.*Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Gempa Indonesia 2010*.Bandung 1 Juli 2010.Laporan Studi.

Lira Nursiah.2017.*Analisis Parameter Seismik Gempabumi Wilayah Lengan Timur Sulawesi Dengan Metode Impiris*. Makassar: UIN Alauddin.

Lumintang Gaby Vienda dkk.2015.*Analisis Tingkat Seismisitas Dan Tingkat Kerapuhan Batuan Di Maluku Utara*. Jurnal Universitas Sam Ratulangi Manado. Vol.15, No. 2, Tahun 2015.

Mutiarani Afifi.2013.*Studi B-Value Untuk Pengamatan Seismisitas Wilayah Pulau Jawa Periode 1964-2012*.Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

Ngadmanto Drajat.2010.*Penentuan Potensi Gempabumi Merusak Berdasarkan Parameter Kegempaan Di Wilayah Busur Banda*.Jurnal Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Vol.13, No.2, Tahun 2010.

Pertiwi Pandaini Cindika.2010.*Analisis Peluang Terjadinya Gempabumi Dengan Metode Likelihood Untuk Daerah Papua Dan Sekitarnya*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.

Raharjo Dawam Furqon,dkk.2016.*Analisis Variasi Spasial Parameter Seismotektonik Daerah Sumatera Barat Dan Sekitarnya Dengan Menggunakan Metode Likelihood*.Jurnal Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Vol,8. Tahun 2016.

- Rohadi Supriyanto.2015.*Distribusi Spasial Dan Temporal Parameter Seismotektonik Sebagai Indikasi Tingkat Aktivitas Kegempaan Di Wilayah Papua*. Jurnal Meteorologi Dan Geofisika Vol.16,No,3, Tahun 2015.
- Sunardi Bambang, Istikomah U.M., Sulastri.2017.*Analisis Seismotektonik Dan Periode Ulang Gempabumi Wilayah Nusa Tenggara Barat, Tahun 1973-2015*. Jurnal Riset Geofisika Indonesia Vol.1, No.1, Tahun 2017.
- Tauladani Rahmad.2015.*Kajian Seismisitas Dan Periode Ulang Gempabumi Di Aceh*.Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- USGS.2016.PlateBoundaries.<https://pubs.usgs.gov/gip/earthq1/plate.html>., tanggal akses 10 Juli 2017
- USGS.2017.USGS Earthquake Glossary hyposenter. <https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=hypocenter>., tanggal akses 8 Maret 2018
- Waltham, D., Hall, R., Smyth, H., dan Ebinger, C. 2008.*Basin formation by volcanic arc loading, Buletin of Seismological Society of America, Special Papper 436*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

