

**Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitudo
Gempabumi Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi
Dari Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat**

(Skripsi)

Oleh

Rindi Antika Sari

1515051027



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

“Determination of Empirical Equations to Predict Earthquake Magnitude Using Earthquake Precursor Parameters from Lombok Magnetic Anomaly West Nusa Tenggara”

By

Rindi Antika Sari

ABSTRACT

The Lombok earthquake on August 5, 2018 at 21:56 WIB with a strength of 7 Mw with a depth of 10 Km, has a distance of 30 km epicenter to the east of East Lombok. Then followed by aftershocks on the same day five times with a power of <6 Mw. Previously there was an earthquake in the same area on July 29, 2018 with a strength of 6.4 MW. BMKG (2018) states that this earthquake occurred due to the activities of the Flores Back Arc Thrusting, seen by analyzing the movement of the earthquake source mechanism in the form of shifting rocks that move up. In an effort to find out the changes in the magnetic field due to the shift of rocks that caused the earthquake, on August 28, 2018 the Climatology and Geophysics Meterology Agency installed the LEMI 018 tool in Bayan, Lombok, to find out the Earth's magnetic variation data and the causes of earthquakes. This study uses magnetic anomaly data from August to October recorded by the LEMI 018 tool at Bayan Station, Lombok. In this study, an empirical equation was calculated to predict earthquake magnitude using earthquake precursor parameters, namely earthquake amplitude, magnitude, hypocenter. From the results of processing and analysis, it was found that the anomalies that arise are a result of internal earth activities, with minimum and maximum leadtime between magnetic anomalies and earthquake events occurring in Lombok area is 173 hours and 658 hours, and the empirical equation is obtained as follows.

$M = 0.0670 * A + 0.001 * S + 4.346$ with the value of the correlation coefficient (R2) 0.855.

Keywords: Earthquake Precursors, Empirical Equations, Lead Time, Magnetic Anomalies .

**“Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitudo
Gempabumi, Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi Dari
Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat”**

Oleh

Rindi Antika Sari

ABSTRAK

Gempabumi Lombok pada tanggal 05 Agustus 2018 jam 21:56 WIB dengan kekuatan 7 Mw dengan kedalaman 10 Km, memiliki jarak episentrum 30 km arah timur laut Lombok timur. Selanjutnya diikuti gempa susulan pada hari yang sama sebanyak lima kali dengan kekuatan <6 Mw. Sebelumnya juga telah terjadi kejadian gempabumi pada daerah yang sama pada tanggal 29 Juli 2018 dengan kekuatan 6.4 Mw. BMKG (2018) menyatakan gempabumi ini terjadi akibat aktivitas Flores Back Arc Thrusting, dilihat dengan menganalisa gerakan mekanisme sumber gempa berupa pergeseran bebatuan yang bergerak naik. Dalam upaya mengetahui perubahan medan magnet akibat pergeseran bebatuan (lempeng) yang menyebabkan gempabumi, pada tanggal 28 Agustus 2018 Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika memasang alat *LEMI* 018 di Bayan, Lombok, untuk mengetahui data variasi magnet bumi dan penyebab terjadinya gempabumi. Penelitian ini menggunakan data anomali magnet pada bulan Agustus sampai Oktober yang terekam oleh alat *LEMI* 018 di Stasiun Bayan, Lombok. Dalam penelitian ini juga dilakukan perhitungan persamaan empiris untuk memprediksi magnitudo gempabumi menggunakan parameter prekursor gempabumi yaitu amplitudo, magnitudo, hiposenter gempa. Dari hasil pengolahan dan analisis yang dilakukan, diperoleh bahwa anomali yang muncul merupakan akibat dari aktivitas internal bumi, dengan leadtime minimum dan maximum antara anomali magnetik sampai event gempabumi yang terjadi di daerah Lombok adalah 173 Jam dan 658 Jam, serta didapatkan persamaan empiris sebagai berikut.

$M = 0.0670 * A + 0.001 * S + 4.346$ dengan nilai koefisien korelasi (R^2) 0.855.

Kata Kunci: Anomali Magnetik, Prekursor Gempabumi, Lead Time, Persamaan Empiris.

**Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitudo
Gempabumi Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi
Dari Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat**

Oleh
RINDI ANTIKA SARI

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

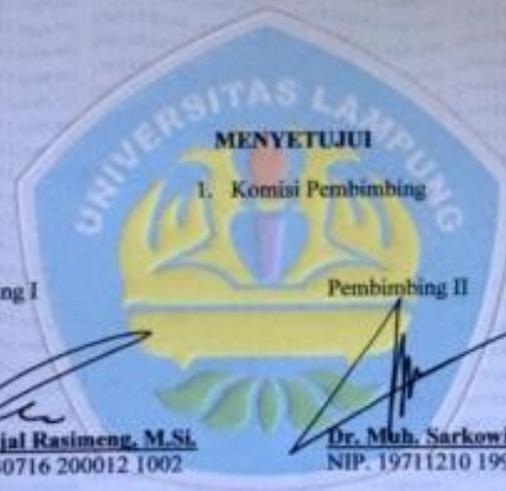
Judul Skripsi : **Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitudo Gempabumi Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi Dari Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat**

Nama : Rindi Antika Sari

Nomor Pokok Mahasiswa : 1515051027

Jurusan : Teknik

Fakultas : Teknik Geofisika



Pembimbing I

Pembimbing II

Syaamsurrijal Rasimeng, M.Si.
NIP. 19730716 200012 1002

Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si
NIP. 19711210 199702 1001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'N' followed by a cursive flourish.

Dr. Nandi Haerudin, M.Si.
NIP.19750911 200012 1002

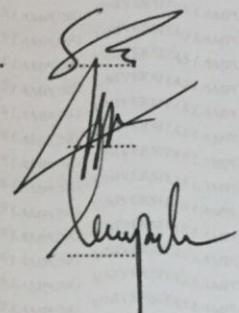
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.

Sekretaris : Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Karyanto, M.T**



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Drs. Suharno, B.Sc., M.S., M.Sc., Ph.D., IPU.
NIP. 19620717 198703 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Mei 2019

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 17 Mei 2019


Rindi Antika Sari

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Rejosari pada Tanggal 01 September 1997, anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Rusdan dan Ibu Feri Setia Ningsih.

Penulis mengawali pendidikan di Sekolah Dasar SDN 03 Negara Ratu, Lampung Selatan pada tahun 2003. Kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama di SMPN 01 Natar, Lampung Selatan pada tahun 2009, dan kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah ke atas di SMAN 01 Natar, Lampung Selatan pada tahun 2012.

Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program S1 Reguler Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif diberbagai organisasi. Pada tahun 2015 – 2016 penulis aktif sebagai Eksekutif Muda Anggota Dinas Eksternal Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) Universitas Lampung, Anggota Divisi *Finance And Gathering AAPG Unila SC (American Association of Petroleum Geologist Lampung University Student Chapter)*.

Pada tahun 2016-2017 penulis juga aktif sebagai Anggota Bidang Sosial Budaya dan Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” Universitas Lampung (HIMA TG BHUWANA), Anggota Divisi Eksternal Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) Universitas Lampung, Anggota Divisi *Finance And Gathering AAPG Unila SC (American Association of Petroleum Geologist Lampung University Student Chapter)*, Anggota Panitia Khusus

pemilihan Raya Fakultas Teknik, Universitas Lampung (PANSUS PEMIRA FT Unila).

Pada Tahun 2017-2018 Penulis diberikan amanah untuk menjabat sebagai Sekretaris Bidang Sosial Budaya Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” Universitas Lampung (HIMA TG BHUWANA), serta penulis juga diberikan amanah sebagai Ketua Divisi *Finance And Gathering* AAPG Unila SC (*American Association of Petroleum Geologist Lampung University Student Chapter*).

Pada Bulan Februari 2018, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Deputi Bidang Sains Antariksa dan Atmosfer dengan Tema “**Pengaruh Flare Terhadap Pola Variasi Solar Quiet (SQ) Pada Stasiun Koto Tabang, Kabupaten Agam Sumatera Barat Tahun 2005-2007**”. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pempen, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur pada Juli-Agustus 2018. Kemudian pada bulan Oktober-November 2018 penulis melaksanakan Tugas Akhir di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta Pusat dengan tema “**Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitudo Gempabumi Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi Dari Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat**”.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT yang telah
Memberikan segala nikmat untukku dalam proses penyelesaian skripsi ini.
Kupersembahkan karyaku ini kepada:

Allah SWT

Atas semua kemudahan, kelancaran, segala nikmat dan berkah yang senantiasa selalu aku rasakan
dalam menyelesaikan skripsiku ini

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Ayah dan Mama yang tiada henti memberikan kasih sayang, semangat, motivasi, do'a dan dukungan
baik secara moral maupun materi, serta terimakasih atas segala usaha dan kerja keras untuk
memenuhi segala kebutuhan hidupku.

Adik Kandungku

Adik kandungku yang senantiasa memberikan semangat, motivasi, dukungan dan do'a.

Almarhum Kakung

Atas semua do'a dan dukungan selama ini, semoga Allah memberikan tempat terindah untukmu
kakung.

Keluarga Besar, Dosen-dosen, Teman-teman, Abang-kakak, dan Adik-adik yang selalu memberiku
ilmu, pengalaman berharga, semangat dan motivasi.

Serta Almamaterku tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

**“PERSIAPKAN, JALANI, USAHA
BERHASIL ATAU TIDAK ALLAH YANG
BERKEHENDAK
ALL IS WELL”**

PENULIS

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhanawata'ala, yang telah memberikan rahmat dan hidayat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitu Gempabumi Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi Dari Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat**" Skripsi ini merupakan hasil penelitian Tugas Akhir Penulis di Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta Pusat sekaligus bagian dari persyaratan meraih gelar S-1 Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari kesalahan. Karena ini penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca agar kedepannya penulis dapat memberikan yang lebih baik lagi. Semoga laporan ini berguna dan dapat menunjang perkembangan ilmu pengetahuan serta dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga para pembaca pada umumnya terutama di bidang keilmuan Geofisika.

Penulis

Rindi Antika Sari

SANWACANA

Puji dan syukur penulis hanturkan kepada Allah SWT, atas Rahmat, Hidayah dan Ridho-Nya yang tak terkira, serta sholawat beriring salam kepada suri tauladan kita, Rasulullah Muhammad SAW yang kita nanti-nantikan syafaatnya di yaumul akhir kelak.

Dalam pelaksanaan dan penyelesaian skripsi dengan judul “Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitudo Gempabumi Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi Dari Data Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat” yang tentunya tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang bersangkutan, yaitu:

1. **Allah S.W.T** Tuhan Yang Maha Esa dan rasullullah Muhammad SAW atas segala rahmat dan hidayah-Nya selama penulis menjalankan hidup dan menyelesaikan Tugas Akhir.
2. **Ayah dan Mamaku** tercinta dan tersayang, yang tiada hentinya memberi penulis semangat, motivasi serta do’a, membimbing dan menyayangi penulis. Terimakasih yah, terimakasih ma atas segala kasih sayang yang diberikan, rindi bangga dengan ayah dan mama kalian orangtua terhebat dan paling rindi sayangi di dunia ini.

3. Adikku tersayang **Indah dan Revan (Alm)** atas segala semangat, hiburan canda tawa dan do'a untuk mbk yin.
4. **Mbh kakung (Alm) dan Mbh Uti** yang senantiasa membantu merawat penulis dari kecil sampai sekarang, terimakasih atas segala kasih sayang yang telah diberikan.
5. **Prof. rs. Suharno, B.Sc., M.S., M.Sc., Ph.D., IPU.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. **Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.** selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
7. **Bapak Hendra Suwarta S., S.Kom.** selaku Kepala Bidang Geofisika Potensial dan Tanda Waktu BMKG yang telah membantu dan mengizinkan penulis untuk dapat melaksanakan Tugas Akhir di BMKG.
8. **Bapak Dr. Suaidi Ahadi, S.T., M.T** selaku pembimbing I sewaktu melaksanakan tugas akhir di BMKG, atas segala bimbingan, ilmu, saran dan masukan yang selalu diberikan setiap harinya.
9. **Bapak Muhamad Syirojudin, M.Si** selaku pembimbing II sewaktu melaksanakan tugas akhir di BMKG, yang selalu sabar memberikan dukungan, script, ilmu dan waktu yang selalu diberikan untuk membimbing penulis menjadi lebih paham.
10. **Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si** selaku pembimbing I sekaligus pembimbing akademik, terimakasih untuk script matlab nya dan terimakasih telah menjadi pembimbing sekaligus orangtua kedua (ayah) yang bersedia untuk memberikan bimbingan, ilmu, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
11. **Bapak Dr. Muh, Sarkowi, S.Si., M.T.** selaku pembimbing II tugas akhir atas kesabarannya dalam membimbing dan memberikan ilmu yang sangat

bermanfaat dalam proses penyelesaian skripsi ini.

12. **Bapak. Karyanto, M.T** selaku dosen penguji tugas akhir atas kesediaannya memberi saran dan kritik, semangat dan ilmu-ilmu yang diberikan selama ini.
13. **Pak Hermawan, MbK Indah, Bu Tristin, Pak Hasan, MbK Ismi, Bapak Opung**, dan seluruh keluarga besar Bidang Geofisika Potensial dan Tanda Waktu BMKG yang telah baik hati, membantu, memberikan masukan selama penulis melaksanakan Tugas Akhir di BMKG.
14. **Bapak I. Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng** yang telah membantu, memberikan masukan dan mengajarkan ilmu yang sangat berguna bagi penulis, terutama di bidang keilmuan geofisika dan kegempaan.
15. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah berbagi ilmu dan pengalaman selama perkuliahan.
16. Staff jurusan, **Mas Pujono, Pak Legino, Babe, Mba Dea**, yang telah membantu menyelesaikan administrasi jurusan.
17. Sahabat-Sahabatku tersayang **Icaaa, Uyong** terimakasih atas semua semangat, Do'a, kebahagiaan, dukungan tiada henti-hentinya dan terimakasih telah selalu ada dari SMA sampai rende bisa mendapatkan gelar sarjana ini.
18. **Kak Irfan (UI)** teman seperjuangan selama melaksanakan tugas akhir di BMKG, terimakasih atas segala bantuan dan masukkan serta cerita selama penulis melaksanakan tugas akhir.
19. Google Maps dan Tourguide Kirandull dan Mumuy, Terimakasih sudah mengajarkan banyak hal, canda tawa, sudah menjadi sahabat dan saudara yang baik selama di Jakarta, tanpa kalian gua belum tentu bisa hidup di ibukota sendirian. *I will miss you guys!*

20. **Satria Arya Utomo**, yang telah memberi semangat, pengertian, dukungan dan do'a yang tiada hentinya, dan dalam berbagai hal lainnya.
21. Tarik Jabrix! **Nopi, Dyna, Sunar** yang selalu memberikan semangat, dukungan, selalu ada dalam kegupekan dan selalu memberikan warna dihari-hari selama berjuang skripsi.
22. Bego-Bego Lucu! **Zeallin, Dana, Ayas** sahabat seperjuangan dari awal masuk kuliah dan memberikan semangat, dukungan sampai skripsi selesai, semoga kita sukses selalu!
23. Sahabat Kesebelasan! **Hani, Monica, Itin, Pia, Eyi, Septian, Madi, Kibo, Mahes, Enal** sahabat beda jurusan yang selalu memberikan semangat dengan segala kerecehan yang ada, dukungan, nasihat, solusi, caci makian, hinaan, canda tawa, hiburan.
24. Sahabat-sahabat penariku **Mamak Febri, Atu Nana, Kak Dinda, MbK Tiwi** sahabat seperjuangan dari SMA yang selalu memberikan semangat dan doa.
25. Sahabat-sahabat SMA yang selalu ada sampai perkuliahan, **Agas dan BabeH Eki** terimakasih sudah selalu ada dan setia menjadi sahabat rende.
26. Rekan KKN **Dede Faul, Bunda Wiwit** atas segala kebersamannya dan kebahagiaannya selama 40 hari.
27. Rekan seperjuangan, **TG15 (Komti Yogi, Eka, Icik, Bang Ali, Maul, Lek Yuda, Abil (Kubil), Adib (Ableh), Adit, Agam, Alvin (Jawa), Aldo (Ambon), Angga, Ayu, Brian (Adek), Dersan (Wongfehng), Desi, Dian S (Kety), Satria (Dokoy), Fikri (Golok), Isti, Renaldi (Jamet), Juli, Ravi (Kiwil), Monang, Nurman, Ozza (Ozayang), Ferdy (Makpeng), Rani, Risma (Bunda), Salma, Tata, Teku (Ade), Ester, Tiara, Ariyan, Dini**

(Awe) yang selama ini mendukung dan menjadi tempat berbagi suka dan duka pada masa perkuliahan, sukses selalu buat kita semua “15TIMEWA”.

28. Kakak **Morales Sibarani** yang telah membantu dan terimakasih atas peta daerah penelitiannya.
29. Teman seperbimbingan, seperjuangan, dan setangisan, **Kak Ipeh (Bugis), Kak Desta, Kak Delvia, Kak Diana (Jawir), Kak Arip, Kak Aldi, Kak Gaffar, Kak Sofyan, Kak Jefri**, Terimakasih atas segala bantuan, masukan dan saran serta pengalaman yang selama ini diberikan.
30. Kakakku tersayang **Winda Styani Yulawati**, terimakasih sudah menjadi contoh yang baik, dan terimakasih atas segala dukungan, ilmu, do'a dan serta semangat yang tiada hentinya.
31. Pembimbing Onlineku (**Kak Ulfa Wahyuningsih, Kak Aul (Isyanah), Kak Amir**) terimakasih atas segala ilmu dan pengalaman yang telah diberikan.
32. Keluarga Besar Teknik Geofisika Unila angkatan 2009, 2010, 2011,2012, 2014, 2015, 2016 dan 2017 yang telah memberikan dukungan, do'a dan semangat untuk penulis.
33. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan banyak perhatian dukungan, semangat, kritik dan saran.

Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapat balasan kebaikan pula dari Allah SWT, Aamiin.

Penulis

Rindi Antika Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
PERSETUJUAN	iii
PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN	v
RIWATA HIDUP	vi
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Batasan Masalah	3
D. Rumusan Masalah	3
E. Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Daerah Penelitian	5
B. Kondisi Geologi Daerah Penelitian	5
C. Tatanan Tektonik Daerah Penelitian	6

III. TEORI DASAR

A. Gempa Bumi	9
B. Klasifikasi Gempabumi.....	10
C. Magnitudo Bumi	11
D. Kemagnetan Bumi.....	15
E. Proses Seismogenis	19
F. Peningkatan Emisi <i>ULF</i> Pada Patahan Batuan	20
G. Prekursor Gempabumi	21
H. Sumber Spektrum <i>ULF (Ultra Low Frequency)</i>	24
I. Transformasi Fourier.....	25
J. Polarisasi Z/H.....	26
K. <i>Single Station Transfer Function (SSTF)</i>	27
L. Indeks Dst	29
K. Persamaan Regresi Linier	30
N. Koefisien Korelasi	30

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	32
B. Alat dan Bahan	32
C. Prosedur Penelitian	32
D. Diagram Alir	35
E. Jadwal Penelitian	36

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	37
B. Pembahasan	43
C. Penentuan Persamaan Empiris Magnitudo Gempabumi	115

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	118
B. Saran	119

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian.....	6
Gambar 2. Lokasi Flores <i>Back Arc Thrust</i>	8
Gambar 3. Parameter Fisis Medan Magnet Bumi	16
Gambar 4. Tiga model anomali emisi ULF yang berkaitan dengan gempabumi	22
Gambar 5. Lapisan E di ionosfer sebagai filter frekuensi tinggi pada spektrum elektromagnetik.....	24
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 7. Komponen Medan Magnet X	37
Gambar 8. Komponen Medan Magnet Y	38
Gambar 9. Komponen Medan Magnet Z.....	38
Gambar 10. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 02 September 2018	43
Gambar 11. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	44
Gambar 12. <i>Azimuth</i> 02 September 2018	45
Gambar 13. <i>Onset time</i> Anomali	46
Gambar 14. Letak Episentrum Gempabumi	47
Gambar 15. <i>Lead time</i> Gempabumi 10 September 2018.....	48
Gambar 16. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 03 September 2018	49

Gambar 17. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	50
Gambar 18. <i>Azimuth</i> 03 September 2018	51
Gambar 19. <i>Onset time</i> Anomali	52
Gambar 20. Letak Episentrum Gempabumi	53
Gambar 21. <i>Lead time</i> Gempabumi 11 September 2018.....	54
Gambar 22. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 29 Agustus 2018	55
Gambar 23. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	56
Gambar 24. <i>Azimuth</i> 29 Agustus 2018	57
Gambar 25. <i>Onset time</i> Anomali	58
Gambar 26. Letak Episentrum Gempabumi	59
Gambar 27. <i>Lead time</i> Gempabumi 18 September 2018.....	60
Gambar 28. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 09 September 2018	62
Gambar 29. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	63
Gambar 30. <i>Azimuth</i> 09 September 2018	63
Gambar 31. <i>Onset time</i> Anomali	64
Gambar 32. Letak Episentrum Gempabumi	65
Gambar 33. <i>Lead time</i> Gempabumi 19 September 2018.....	66
Gambar 34. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 10 September 2018	67
Gambar 35. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	68
Gambar 36. <i>Azimuth</i> 10 September 2018	69
Gambar 37. <i>Onset time</i> Anomali	70
Gambar 38. Letak Episentrum Gempabumi	71
Gambar 39. <i>Lead time</i> Gempabumi 22 September 2018.....	72
Gambar 40. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 05 September 2018	73

Gambar 41. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	74
Gambar 42. <i>Azimuth</i> 05 September 2018	75
Gambar 43. <i>Onset time</i> Anomali	76
Gambar 44. Letak Episentrum Gempabumi	77
Gambar 45. <i>Lead time</i> Gempabumi 23 September 2018.....	78
Gambar 46. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 26 September 2018	79
Gambar 47. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	80
Gambar 48. <i>Azimuth</i> 26 September 2018	81
Gambar 49. <i>Onset time</i> Anomali	82
Gambar 50. Letak Episentrum Gempabumi	83
Gambar 51. <i>Lead time</i> Gempabumi 07 Oktober 2018.....	84
Gambar 52. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 19 September 2018	85
Gambar 53. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	86
Gambar 54. <i>Azimuth</i> 19 September 2018	87
Gambar 55. <i>Onset time</i> Anomali	88
Gambar 56. Letak Episentrum Gempabumi	89
Gambar 57. <i>Lead time</i> Gempabumi 10 September 2018.....	90
Gambar 58. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 23 September 2018	91
Gambar 59. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	92
Gambar 60. <i>Azimuth</i> 23 September 2018	93
Gambar 61. <i>Onset time</i> Anomali	94
Gambar 62. Letak Episentrum Gempabumi	95
Gambar 63. <i>Lead time</i> Gempabumi 11 Oktober 2018.....	96
Gambar 64. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 14 September 2018	97

Gambar 65. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	98
Gambar 66. <i>Azimuth</i> 14 September 2018	99
Gambar 67. <i>Onset time</i> Anomali.....	100
Gambar 68. Letak Episentrum Gempabumi	101
Gambar 69. <i>Lead time</i> Gempabumi 12 Oktober 2018	102
Gambar 70. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 06 Oktober 2018	103
Gambar 71. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filter</i>	104
Gambar 72. <i>Azimuth</i> 06 Oktober 2018	105
Gambar 73. <i>Onset time</i> Anomali.....	106
Gambar 74. Letak Episentrum Gempabumi	107
Gambar 75. <i>Lead time</i> Gempabumi 16 Oktober 2018	108
Gambar 76. Respon Sinyal Komponen <i>H</i> dan <i>Z</i> 10 Oktober 2018	109
Gambar 77. Data sebelum dan sesudah <i>FFT</i> dan <i>Band Pass Filte</i>	110
Gambar 78. <i>Azimuth</i> 10 Oktober 2018	111
Gambar 79. <i>Onset time</i> Anomali.....	112
Gambar 80. Letak Episentrum Gempabumi	113
Gambar 81. <i>Lead time</i> Gempabumi 19 Oktober 2018	114
Gambar 82. Grafik 3 Dimensi Amplitudo, Jarak dan Magnitudo	117
Gambar 83. Kurva Hubungan Amplitudo dan Magnitudo	117

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Spektrum frekuensi Pc (Ahmad dkk.,2012)	19
Tabel 2. Klasifikasi Badai Geomagnet Berdasarkan Besarnya Intensitas Dst	29
Tabel 3. Rentang Nilai Koefisien Korelasi	31
Tabel 4. Pelaksanaan Kegiatan Penelitian.....	36
Tabel 5. Contoh Data (H,D,Z,F,X,Y).....	39
Tabel 6. Anomali Magnet Sebagai Indikator Prekursor	41
Tabel 7. Data Anomali Sebagai Prekursor dan Data Gempabumi	115

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Peristiwa tektonik selalu menyebabkan permukaan bumi menjadi bergerak, seperti penumbukkan antar lempeng dan lainnya yang mengakibatkan akan terjadinya gempa bumi dengan besar magnitudo yang beragam. Selain menyebabkan terjadinya gempa bumi juga mengakibatkan terjadinya *stress* pada batuan yang jika terjadi secara terus menerus menyebabkan batuan tersebut patah dan dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi. Patahan tersebut juga menyebabkan material-material yang dimiliki batuan mengalami perubahan nilai kemagnetannya sehingga menimbulkan adanya anomali magnet, gravitasi, kandungan air dan sifat radio aktif. Dengan terjadinya gempa dapat mengakibatkan kerugian yang besar serta dapat menghilangkan nyawa.

Saat ini sudah ditemukan teori untuk memprediksi gempabumi. Pakpahan, dkk, (2014) menyatakan bahwa prediksi gempabumi dapat dilakukan dengan mengamati parameter dari prekursor gempabumi. Prekursor gempabumi digunakan untuk mengetahui prakiraan akan terjadinya gempabumi, besar magnitudo gempa serta zona prakiraan gempa tersebut dengan menggunakan beberapa parameter berupa amplitudo, *azimuth*, *onset time* dan magnitudo gempa sebelumnya. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah

magnetometer LEMI 018, alat ini digunakan untuk memperoleh data variasi medan magnet bumi komponen ΔH , ΔD , ΔZ .

Ahadi, dkk, (2013) telah melakukan penelitian prekursor gempa bumi Padang 2009 dengan parameter anomali emisi *ULF* dan metode polarisasi rasio untuk penentuan waktu mula (*onset time*) serta Fungsi Transfer Stasiun Tunggal (*Transfer Function Single Station*) untuk mengetahui arah dari anomali. Khuswah, dkk, (2004) juga telah melakukan penelitian tentang prekursor gempa bumi dengan menggunakan parameter *ULF* yang dapat dipercaya untuk memprediksi kejadian gempa bumi yang besar. Namun, (Ibrahim, dkk, 2012; Ahadi, dkk, 2013:2014) menyatakan bahwa untuk menyimpulkan penyebab anomali muncul perlu dilakukan validasi dengan aktivitas badai matahari global (Indeks *Dst*) sehingga dapat diketahui penyebab anomali tersebut muncul apakah efek dari aktivitas seismogenik. Karena seperti yang telah dijelaskan bahwa pergerakan lempeng dapat menyebabkan terjadinya *stress* yang mengakibatkan terjadinya patahan pada batuan dan menyebabkan material-material pada batuan tersebut termasuk nilai kemagnetannya berubah, sehingga dapat menyebabkan anomali magnet muncul.

Selain itu, Rachman dkk, (2017) juga telah melakukan penelitian tentang penentuan magnitudo gempa dengan menganalisis anomali magnetik prekursor gempa bumi dan jarak *hypocenter* gempa pada daerah kupang yang menyatakan bahwa hasil dari penelitian mereka persamaan prediksi magnitudo yang digunakan belum bisa diterapkan pada magnitudo diatas 4 Mw. Didukung oleh Mahanani (2016) melalui penelitiannya tentang penentuan rumus empiris magnitudo gempa bumi lokal di wilayah Sulawesi Barat dan Sulawesi Tengah melalui nilai periode dominan.

Mengacu pada beberapa penelitian tersebut, dalam penelitian ini penulis membahas tentang prekursor gempabumi sebagai parameter dalam melakukan penentuan rumus empiris untuk memprediksi magnitudo gempabumi yang akan terjadi pada daerah Lombok, Nusa Tenggara Barat.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan korelasi anomali magnetik dengan kejadian gempabumi.
2. Menentukan waktu mula (*onset time*) dan waktu tunggu (*lead time*) terjadinya gempabumi.
3. Menentukan persamaan empiris magnitudo gempa berdasarkan parameterisasi dari prekursor gempabumi.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah mengetahui hubungan keterkaitan antara perubahan anomali magnetik dengan kejadian gempabumi.

D. Rumusan Masalah

Apakah dengan parameter dari prekursor gempabumi dapat diketahui hubungan keterkaitan antara anomali magnetik dengan gempabumi, yang dapat digunakan dalam menentukan persamaan empiris untuk memprediksi magnitudo gempabumi selanjutnya.

E. Hipotesis

Gempabumi Tektonik disebabkan oleh pergerakan lempeng pada zona sesar. Pergerakan lempeng-lempeng tersebut juga akan mengakibatkan perubahan nilai kemagnetan batuan pada zona sesar, sehingga menyebabkan adanya anomali magnetik pada zona tersebut. Perubahan anomali magnetik pada zona tersebut akan digunakan sebagai parameter dalam menentukan prekursor gempabumi. Parameterisasi dari prekursor gempabumi dapat digunakan dalam melakukan perumusan rumus empiris untuk memprediksi magnitudo gempabumi selanjutnya.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daerah Penelitian

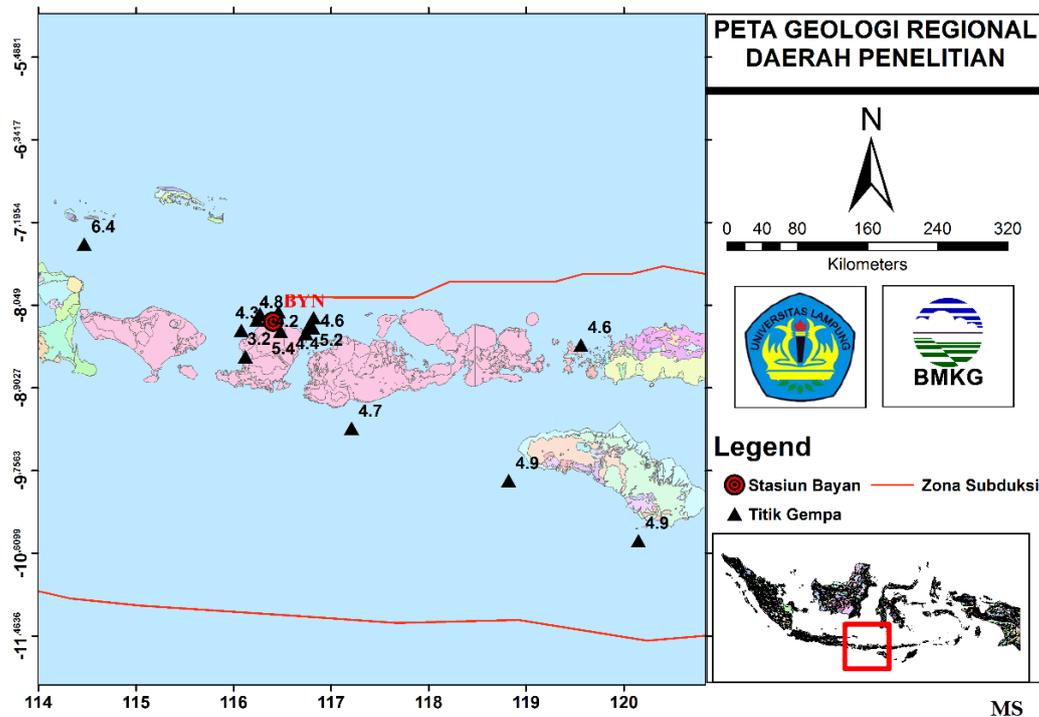
Daerah penelitian terletak pada daerah Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.

B. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Dilihat berdasarkan pada **Gambar 1** peta geologi daerah Lombok, titik pengamatan yang digunakan beberapa ada yang terletak di daratan dan dilaut pada daerah sekitar Lombok, Nusa Tenggara Barat.

Pada penelitian ini titik-titik pengamatan yang digunakan terekam pada stasiun Gempabumi di Bayan, Lombok, Nusa Tenggara Barat. Kondisi geologi wilayah NTB dengan batuan tertua berumur Tersier dan yang termuda berumur Kuarter, didominasi oleh Batuan Gunung Api serta Aluvium. Batuan Tersier di Pulau Lombok terdiri dari perselingan batupasir kuarsa, batulempung, breksi, lava, batu gamping dan dasit. Sedangkan di Pulau Sumbawa terdiri dari lava, breksi, tufa, andesit, batupasir tufaan, batulempung, dasit, tonalit, tufa dasitan, batu gamping berlapis, batugamping tufaan dan lempung tufaan. Batuan Kuarter di Pulau Lombok terdiri dari perselingan breksi gampingan. Sedangkan di Pulau Sumbawa terdiri dari terumbu koral terangkat, epiklastik (konglomerat),

hasil Gunung Api tanah merah, Gunung Api tua, Gunung Api Sangeang Api, Gunung Api Tambora, Gunung Api muda dan batugamping koral. Aluvium dan endapan pantai cukup luas terdapat di Pulau Sumbawa dan Lombok (Dena,2012).



Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian

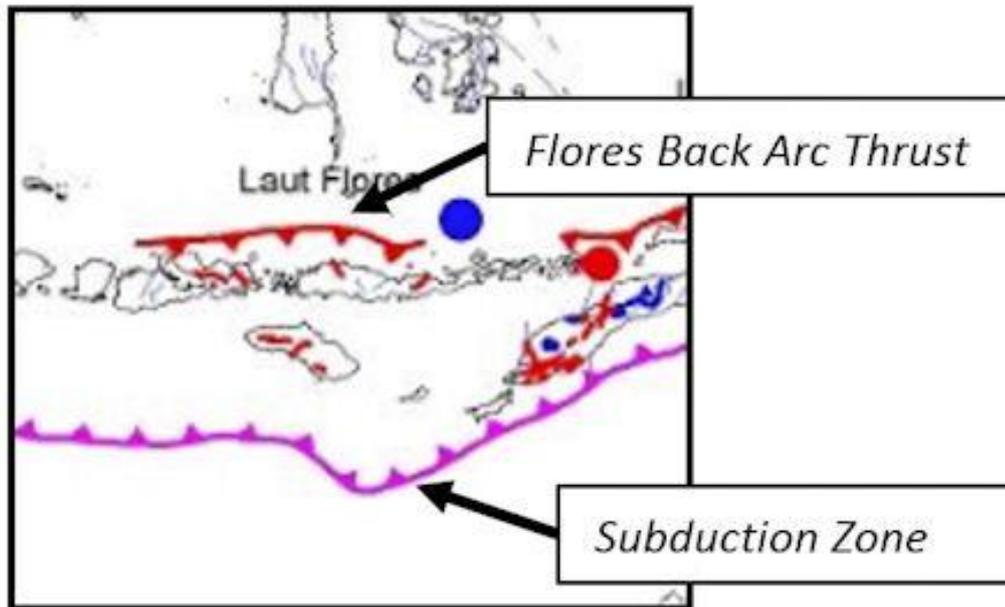
C. Tatanan Tektonik Daerah Penelitian

Berdasarkan tatanan geologi Indonesia, Wilayah Nusa Tenggara Barat terletak pada pertemuan dua lempeng besar (Lempeng Hindia-Australia dan Lempeng Eurasia) yang berinteraksi dan saling berbenturan satu dengan yang lain. Batas kedua lempeng ini merupakan daerah yang sangat labil ditandai dengan munculnya tiga Gunung Api aktif tipe A (Rinjani, Tambora dan Sangeang Api). Perluasan ke timur dari busur dalam vulkanis adalah rangkaian pulau-pulau Bali-Lombok-Sumbawa-Flores. Di setiap Pulau tersebut dijumpai zona-zona seperti di Jawa Timur misalnya zona Solo yang terisi vulkanik kuarter menempati bagian utara Pulau Bali (Gunung Batur, Gunung Agung), bagian utara Pulau Lombok (Gunung

Rinjani), mulai tidak nampak geantiklinalnya di Pulau Sumbawa karena tenggelam di dasar laut membentuk Teluk Sholeh, di Pulau Flores bekas geantiklinalnya masih nampak, di Pulau Komodo dan Pulau Rinca juga Teluk Maumere di Flores Timur. Busur luar non vulkanisnya berupa punggung dasar laut sebelah selatan deretan pulau-pulau tersebut (Purnomo, 2010).

Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan sebanyak 12 titik gempabumi yang terjadi pada daerah Lombok pada tahun 2018. Gempabumi yang diamati ini setiap gempanya memiliki magnitudo >4 Mw yang tercatat pada stasiun gempabumi yang berada di Bayan, Lombok. Secara tektonik, Lombok merupakan salah satu wilayah pada Provinsi Nusa Tenggara Barat yang rawan gempa bumi. Sebab, posisi wilayah Lombok ini terletak di antara dua pembangkit gempa, yang dijuluki dengan kawasan seismik aktif seperti yang terlihat pada **Gambar 2** Lombok berada diantara dua pembangkit gempa yang berasal dari selatan dan utara. Di selatan terdapat zona subduksi lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah Pulau Lombok. Sedangkan dari utara ada struktur geologi bernama sesar naik Flores atau Flores *Back Arc Thrusting*. Sesar naik Flores ini, jalurnya memanjang dari Laut Bali ke timur hingga Laut Flores (Daryono, 2011).

Dengan terdapatnya beberapa sesar serta lempeng yang dekat dengan daerah Lombok menyebabkan Lombok dikatakan sebagai daerah rawan gempa, karena jalur Sesar Naik Flores ini sangat berdekatan dengan Pulau Lombok. Meskipun kedalaman hiposenternya dan magnitudonya bervariasi, tampak jelas wilayah Lombok memang kawasan aktif gempa yang bersumber dari subduksi lempeng. Sesar naik Flores dan sesar lokal di Pulau Lombok dan sekitarnya. Dari hal ini pun cukup menjadi dasar untuk mengatakan bahwa Lombok memang rawan gempa.



Gambar 2. Lokasi Flores *Back Arc Thrust* (Daryono,2011)

III. TEORI DASAR

A. Gempabumi

Pada tahun 1906 seorang Profesor bernama Henri Fielding Reid menciptakan satu terobosan utama dalam memahami mekanisme gempa bumi yaitu, teori bingkai elastik (*elastic rebound theory*). Dalam teorinya dijelaskan bahwa material pada sisi sesar yang mengalami pergerakan secara relatif akan terdeformasi, tapi sesar tersebut tidak dapat lolos dan terhindar dari *slip*, sehingga saat regangan (*strain*) yang terakumulasi pada batuan melebihi batas maksimumnya dan terjadi *slip* maka energi tegangan (*stress*) akan dilepaskan secara tiba-tiba dan menghasilkan gempabumi. Energi deformasi gelombang merupakan bentuk energi yang dilepaskan saat terjadi gempabumi tersebut. Energi gelombang sendiri dapat menggetarkan medium elastis di sekitarnya dan akan menjalar ke segala arah.

Berdasarkan teori bingkai elastik ini, sebelum adanya *break* pada hiposenter terlebih dahulu ada tanda-tanda awal (prekursor) yang berasosiasi dengan gempa-gempa kecil (*foreshock*) yang disebut fase *preseismic*, di mana pada fase ini energi *strain* terakumulasi dan terjadi peningkatan energi *stress* secara perlahan-lahan (Afnimar, 2009) .

B. Klasifikasi Gempa Bumi

Gempa bumi dapat digolongkan menjadi empat jenis, yaitu :

1. Gempa bumi Tektonik

Gempa bumi tektonik adalah fenomena gempa bumi yang sering terjadi karena adanya aktivitas pada batas lempeng-lempeng tektonik yang mengalami pergerakan secara relatif satu terhadap yang lainnya yang menyebabkan energi *stress* (tekanan) secara tiba-tiba melepaskan energinya dalam bentuk getaran yang disebut gempabumi.

2. Gempa bumi Vulkanik

Gempa bumi vulkanik adalah fenomena gempa bumi yang berasal dari gerakan magma karena aktivitas gunung api.

3. Gempa bumi Runtuhan

Gempa bumi runtuh adalah gempabumi yang terjadi karena aktivitas runtuh pada daerah tertentu, seperti daerah pertambangan batuan kapur, dimana gempa tersebut bersifat lokal dan jarang terjadi.

4. Gempa bumi Buatan

Gempa bumi buatan adalah gempabumi yang disebabkan oleh aktivitas dari manusia, seperti peledakan dinamit, nuklir atau palu yang dipukulkan ke permukaan bumi dalam kegiatan eksplorasi (Ibrahim dan Subardjo, 2005). Gempabumi yang berkaitan dengan adanya fenomena anomali gelombang elektromagnetik adalah Gempabumi Tektonik.

C. Magnitudo Gempabumi

Magnitudo gempa adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Skala yang kerap digunakan untuk menyatakan magnitudo gempa ini adalah Skala Richter (*Richter Scale*). Secara umum, magnitudo dapat dihitung menggunakan formula

$$M = (\log a/T) + f(\delta, h) + C_s + C_R \quad (1)$$

Dimana :

M : Magnitudo

a : Amplitudo gerakan tanah (mm)

T : Periode gelombang (detik)

δ : Jarak pusat gempa atau episenter (Km)

h : Kedalaman gempa (Km)

C_s & C_R : Faktor koreksi yang bergantung pada kondisi lokal & regional daerahnya.

Terdapat empat jenis Magnitudo yang umum digunakan yaitu : Magnitudo lokal, Magnitudo bodi, Magnitudo permukaan dan Magnitudo momen (Lay dan Wallace.,1995).

a) Magnitudo Lokal (ML)

Magnitudo lokal pertama kali diperkenalkan oleh Richter di awal tahun 1930-an, menurut Richter dengan mengetahui jarak episenter ke seismograf dan mengukur amplitudo maksimum dari sinyal yang tercatat di seismograf maka dapat dilakukan pendekatan untuk mengetahui besarnya gempabumi yang terjadi.

Magnitudo lokal mempunyai rumus empiris sebagai berikut :

$$ML = \log a + 3 \log D - 2.92 \quad (2)$$

Dengan:

a = Amplitudo getaran tanah (mm),

D = Jarak Stasiun pencatat ke sumber gempa bumi (Km) dengan $D > 600$ km.

ML mempunyai standard epicenter 100 km, gempa dengan episenter kurang dari atau lebih dari 100 km digunakan sistem *nomograph* untuk menormalisasi amplitudo bumi. Selain itu ML akan mengalami saturasi pada gempa dengan kekuatan 6,5 skala richter ke atas.

b) Magnitudo Bodi (M_b)

Magnitudo ini didefinisikan berdasarkan catatan amplitudo dari gelombang P yang menjalar melalui bagian dalam bumi (Lay dan Wallace.,1995). Secara umum dirumuskan dengan persamaan

$$M_b = \log (a / T) + Q (h, D) \quad (3)$$

Dengan:

a = Amplitudo getaran (mm),

T = Periode getaran (detik)

$Q (h, D)$ = koreksi jarak D dan kedalaman h yang didapatkan dari pendekatan empiris.

c) Magnitudo Permukaan (M_s)

Magnitudo tipe ini didapatkan sebagai hasil pengukuran terhadap gelombang permukaan (*surface waves*). Untuk jarak $D > 600$ km seismogram periode panjang dari gempa bumi dangkal didominasi oleh gelombang permukaan. Gelombang ini biasanya mempunyai periode sekitar 20 detik.

Magnitudo ini juga akan mengalami saturasi pada gempa yang mempunyai kekuatan di atas 8 skala richter. Amplitudo gelombang permukaan sangat tergantung pada jarak D dan kedalaman sumber gempa h . Gempabumi dalam tidak

menghasilkan gelombang permukaan, karena itu persamaan M_s tidak memerlukan koreksi kedalaman. Magnitudo permukaan mempunyai bentuk rumus sebagai berikut

$$M_s = \log a + a \log D + b \quad (4)$$

Dengan:

a = amplitudo maksimum dari pergeseran tanah Horizontal pada periode 20 s.

D = Jarak (km),

(a dan b adalah koefisien dan konstanta yang didapatkan dengan pendekatan empiris. Persamaan ini digunakan hanya untuk gempa dengan kedalaman sekitar 60 km).

Hubungan antara M_s dan M_b dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$M_b = 2.5 + 0.63 M_s \text{ atau } M_s = 1.59 m_b - 3.97 \quad (5)$$

d) Magnitudo Momen (M_w)

Kekuatan gempabumi sangat berkaitan dengan energi yang dilepaskan oleh sumbernya. Pelepasan energi ini berbentuk gelombang yang menjalar ke permukaan dan bagian dalam bumi. Dalam penjarannya energi ini mengalami pelemahan karena absorpsi dari batuan yang dilaluinya, sehingga energi yang sampai ke stasiun pencatat kurang dapat menggambarkan energi gempabumi di hiposenter. Berdasarkan Teori Elastik Rebound diperkenalkan istilah momen seismik (*seismic moment*). Momen seismik dapat diestimasi dari dimensi pergeseran bidang sesar atau dari analisis karakteristik gelombang gempabumi yang direkam di stasiun pencatat khususnya dengan seismograf periode bebas (*broadband seismograph*).

$$M_o = \mu D A \quad (6)$$

Dengan:

M_o = Momen seismik (N/m)

μ = Rigiditas (N/m²)

D = Pergeseran rata-rata bidang sesar (m)

A = Area sesar (m²)

Secara empiris hubungan antara momen seismik dan magnitudo permukaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\log M_o = 1.5 M_s + 16.1 \quad (7)$$

Dengan:

M_s = Magnitudo permukaan (Skala Richter)

Kanamori (1997) beserta Lay dan Wallace, (1995) memperkenalkan Magnitudo momen (*moment magnitude*) yaitu suatu tipe magnitudo yang berkaitan dengan momen seismik namun tidak bergantung dari besarnya magnitudo permukaan :

$$M_w = (\log M_o / 1.5) - 10.73 \quad (8)$$

Dengan:

M_w = Magnitudo momen

M_o = Momen seismik (N/m)

Meskipun dapat menyatakan jumlah energi yang dilepaskan di sumber gempa bumi dengan lebih akurat, namun pengukuran magnitudo momen lebih kompleks dibandingkan pengukuran magnitudo M_L , M_s dan M_b . Karena itu penggunaannya juga lebih sedikit dibandingkan penggunaan ketiga magnitudo lainnya (Lay dan Wallace., 1995).

D. Kemagnetan Bumi

Medan magnet bumi terkarakterisasi oleh parameter fisis atau disebut juga elemen medan magnet bumi, yang dapat diukur yaitu meliputi arah dan intensitas kemagnetannya yang dapat dilihat pada **Gambar 3** Parameter fisis tersebut meliputi:

1. Deklinasi (D), yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen *Horizontal* yang dihitung dari utara menuju timur.
2. Inklinasi (I), yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah.
3. Intensitas Horizontal (H), yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.
4. Medan magnetik total (F), yaitu besar dari vektor medan magnetik total. Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu. Untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standar nilai yang disebut sebagai *International Geomagnetiks Reference Field (IGRF)* yang diperbaharui setiap 5 tahun sekali. Nilai-nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km² yang dilakukan dalam waktu satu tahun.

Hubungan antara medan magnet dan tiap-tiap komponennya dapat dinyatakan melalui persamaan berikut :

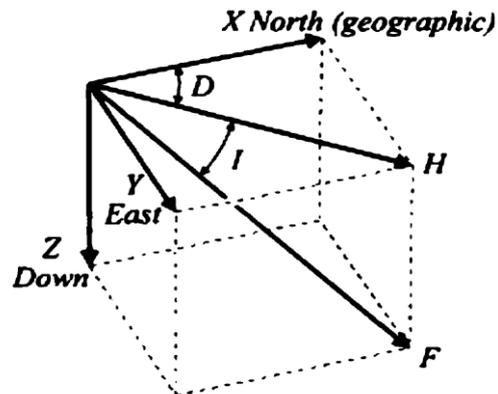
$$H = F \cos I \tag{9}$$

$$X = H \cos D \tag{10}$$

$$Y = H \sin D \tag{11}$$

$$Z = F \sin I \tag{12}$$

$$F = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (13)$$



Gambar 3. Parameter fisis medan magnet bumi (Telford, dkk., 1976).

Keterangan :

1. Intensitas Vertikal (Z)
 Besar medan magnet pada bidang vertikal.
2. Intensitas Arah X
 Besar medan magnetik yang searah dengan utara sebenarnya.
3. Intensitas Arah Y
 Besar medan magnetik yang searah dengan timur sebenarnya.
4. Sudut D merupakan sudut deklinasi yang dibentuk oleh utara sebenarnya (X) dengan komponen *Horizontal* (H).
5. Sudut I merupakan sudut iklinasi yang besarnya ditentukan oleh vektor H dan F .

Medan magnet yang teramati di bumi (medan geomagnetik) merupakan gabungan dari beberapa sumber yang berbeda. Sumber-sumber pembangkit medan magnet bumi ini adalah:

1. Sumber Internal

Medan magnet bumi secara global dibangkitkan oleh efek dinamo magnetik

yang berasal dari inti luar bumi yang cair. Medan magnet ini memiliki pengaruh dominan terhadap bumi sekitar 99% atau dapat disebut medan magnet utama.

2. Sumber Lokal

Medan magnetik lokal atau anomali lokal juga disebut medan magnetik anomali (*crustal field*), merupakan bagian dari medan magnet bumi yang ditimbulkan karena ketidakteraturan distribusi material magnetis di kerak bumi bagian luar. Medan magnetik ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral magnetik seperti *magnetite* (Fe_7S_8), *titanomagnetite* (Fe_2TiO_4), dan lain-lain yang berada di kerak bumi. Materi penyusun kerak bumi tidak homogen yang terlihat dari adanya anomali sampai kedalaman beberapa puluh kilometer. Anomali medan magnet bumi ini biasanya bersifat lokal sehingga tidak terlihat pada peta-peta isomagnetik secara regional.

3. Sumber Eksternal

Pengaruh medan magnet luar berasal dari luar bumi yang merupakan hasil dari ionisasi gas oleh partikel elektromagnetik, terutama yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari di atmosfer yang mengalir dalam lapisan ionosfer yang menginduksi medan magnet di permukaan bumi. Medan luar menyebabkan perubahan yang sifatnya periodik hal itu dikarenakan sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat. Berdasarkan periodenya medan magnet luar bumi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu variasi harian matahari, bulan dan badai magnetik.

Badai magnet diawali dengan proses terjadinya interaksi antara medan dari angin matahari yang bertemu medan magnet dari magnetosfer bumi. Interaksi ini

menyebabkan terjadinya transfer plasma energi, sehingga arus dalam magnetosfer dan ionosfer berubah-ubah terhadap waktu dan medan magnet bumi mengalami gangguan magnetik. Perubahan arus dan medan magnet dimagnetosfer ini disebut badai magnet. Medan magnet yang terjadi selama badai magnet sangat tidak teratur, tak terduga, dan dapat berlangsung selama beberapa hari. Gangguan magnetik ini dapat menyebabkan variasi dari 1-1000 nT dan mempengaruhi semua komponen medan magnet bumi Z , H dan D (Telford, dkk., 1990).

Anomali emisi *ULF* dicari untuk waktu lokal pada malam hari karena untuk menghindari gangguan magnetik yang salah satunya berupa *Pulsa continuous (Pc)*. *Pulsa continuous* merupakan gangguan magnetik yang disebabkan oleh aktivitas dari luar angkasa dan memiliki *range* frekuensi dalam kisaran spektrum *ULF* (1mHZ-500mHZ). *Pc* ini terdiri dari beberapa jenis yaitu *Pc 1* sampai *Pc 5* seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**. *Pc 3-4* yang memiliki spektrum yang mirip dengan spektrum yang dihasilkan akibat dari aktivitas litosfer dan terjadi pada siang hari. Sementara pada malam hari terdapat gangguan *Pc 5*, namun *Pc 5* memiliki nilai frekuensi spektrum yang berbeda dengan spektrum yang dihasilkan dari aktivitas litosfer. Atas dasar inilah pengamatan anomali emisi *ULF* dilakukan untuk malam hari. Badai magnet dan gangguan magnet berupa *Pc* dapat diidentifikasi dengan melihat indeks *DST* (Wulandari,2015).

Tabel 1. Spektrum frekuensi *Pc* (Ahmad dkk.,2012)

Jenis <i>Pc</i>	Periode (detik)	Frekuensi (mHz)
<i>Pc1</i>	0,2-5	200-500
<i>Pc2</i>	5-10	100-200
<i>Pc3</i>	10-45	22-100
<i>Pc4</i>	45-150	6.7-22
<i>Pc5</i>	150-600	1.7-6.7

E. Proses Seismogenesis

Tanda-tanda awal (*precursor*) pada gempabumi yang besar biasanya memiliki lokasi, magnitudo, dan fraktral yang hampir sama dengan gempa susulan. Oleh karena itu, pada saat ini masih dikembangkan model proses seismogenik yang berkaitan dengan gempabumi tersebut. Seismogenesis *mainshock* dimulai dengan pembentukan retakan utama dan dari proses ini lalu dihasilkan serangkaian retakan kecil yang menjadi prekursor gempabumi. Prekursor gempabumi sendiri diklasifikasikan menjadi dua fenomena yaitu fenomena seismik dan fenomena non seismik. Fenomena seismik meliputi kesenyapan seismik (*Seismic gap*), penurunan (*Seismic quiescence*) dan peningkatan aktivitas seismisitas serta perubahan kecepatan gelombang seismik. Sedangkan fenomena non seismik adalah fenomena yang berasosiasi dengan deformasi lokal, emisi elektromagnetik, resistivitas batuan, emisi akustik dan gas (radon dan helium) dan sebagainya. Skala waktu model seismogenik sendiri dibagi menjadi dua yaitu waktu respon dan waktu antisipasi. Waktu respon adalah waktu dimana gempa utama telah terjadi yang diikuti oleh gempa-gempa susulan. Sedangkan waktu antisipasi adalah waktu proses terbentuknya retakan utama sampai akhirnya gempabumi terjadi, di mana pada waktu antisipasi ini ada tiga tahapan yaitu, jangka panjang (beberapa tahun sampai puluhan tahun), jangka menengah (beberapa bulan sampai beberapa tahun) dan jangka pendek (beberapa hari sampai beberapa bulan). Perubahan kondisi elektromagnetik termasuk kedalam prediksi jangka pendek, di mana prediksi ini didasarkan pada pengamatan deformasi kerak (Subakti, 2012).

Konsep mekanisme fisis *Seismo-elektromagnetik (SEM)* dapat digunakan dalam mempelajari dan menjelaskan fenomena-fenomena anomali yang terjadi di

litosfer sebelum gempa bumi terjadi dengan gelombang elektromagnet. Terjadinya pembangkitan emisi elektromagnet di bumi menandakan adanya gerakan mekanis yang melepaskan ion. Gerakan tersebut dapat berupa adanya tekanan, batuan yang saling bergesekan dan lain sebagainya. Seperti yang dijelaskan pada teori bingkai elastik bahwa sebelum terjadi gempa bumi, terlebih dahulu ada gerakan mekanik pada batuan, maka ketika terjadi gerakan mekanik tersebut, sehingga ion-ion akan terlepas dan mengalir. Adanya muatan yang mengalir menyebabkan adanya listrik dan menghasilkan medan listrik. Medan listrik inilah yang menyebabkan adanya medan magnet sehingga muncul gelombang elektromagnet yang kemudian menjalar ke permukaan. (Yumoto, 2006).

F. Peningkatan Emisi *ULF* Pada Patahan Batuan

Beberapa peneliti membuat pendekatan yang dapat digunakan dalam memahami mekanisme fisis untuk perubahan emisi *ULF* yang berasosiasi dengan gempa bumi. Pendekatan tersebut meliputi :

1. Efek Elektrokinetik

Dalam teorinya, Fenoglio, dkk, (1995) menjelaskan bahwa efek ini muncul karena batuan mengalami perubahan tekanan yang disebabkan oleh deposit silika pada batuan tersebut sehingga menghasilkan aliran gangguan magnet bumi.

2. Efek Induksi

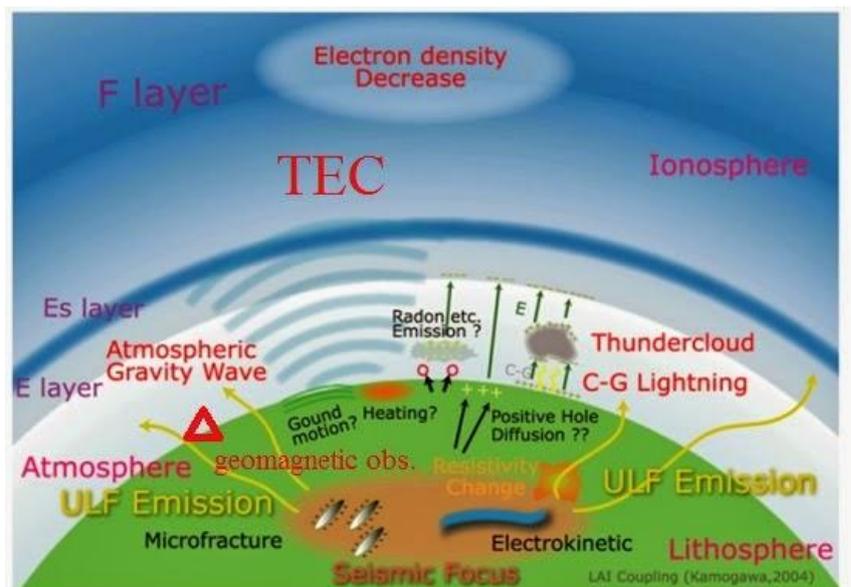
Menurut (Kovtun, 1980; Mogi, 1985) efek induksi adalah efek yang muncul akibat adanya aktivitas di sumber gempa bumi (*focal zone*) yang menyebabkan perubahan pada konduktivitas geo-elektrik dan amplitudo pada gelombang elektromagnetik, *non-lithospheric*.

3. Efek *Micro-Fracturing*

Molchanov dan Hayakawa, (1995) menjelaskan bahwa emisi gelombang elektromagnetik dengan spektrum *Ultra Low Frequency* (ULF) yang terekam diasumsikan dapat mengalami peningkatan secara signifikan apabila terjadi patahan pada batuan. Molchanov dan Hayakawa, (1998) mengutarakan pendapatnya bahwa salah satu kemungkinan mekanisme yang dapat digunakan dalam menemukan emisi *ULF* adalah dengan elektrifikasi retakan kecil, di mana secara makroskopis elektrifikasi tersebut dapat dikarakterisasi-kan dengan permitivitas ϵ_g dan konduktivitas dielektrik σ_g dan beberapa fluktuasi medan elektromagnetik akan terhenti saat menempuh waktu $\tau_d \sim \epsilon_g / \sigma_g \sim 10^5 - 10^8$. Oleh karena itu hanya proses induksi tekanan yang dapat memenuhi untuk menjelaskan pengamatan *micro-fracturing*.

G. Prekursor Gempa Bumi

Sebelum terjadinya gempa bumi, batuan di kedalaman sumber mengalami peningkatan gaya-gaya stress sampai akhirnya pecah sehingga menimbulkan pergeseran pada bidang litosfer serta getaran di permukaan (Johnston, 2002). Gempa berkaitan erat dengan proses pelepasan energi tekanan (*stress*) batuan yang terakumulasi sebelumnya, yang terjadi karena proses pergerakan relatif lempeng-lempeng tektonik satu dengan lainnya. Efek gempabumi juga mengakibatkan perubahan ion kemagnetan bumi atau dikenal dengan piezomagnetisme.



Gambar 4. Tiga model anomali emisi ULF yang berkaitan dengan gempa bumi (Kamogawa., 2004).

Hattori, dkk (2006), mengilustrasikan ketiga model pendekatan dari mekanisme terjadinya perubahan gelombang *ULF* pada **Gambar 4** oleh (Kamogawa, 2004). Dua model menjelaskan tentang emisi *ULF* yang disebabkan oleh efek elektrokinetik dan efek *micro-fracturing* dan satu model menjelaskan tentang perubahan amplitudo gelombang elektromagnetik yang dilihat dari *Power Ratio (SZ/SH)* dimana komponen *H* dan *Z* sangat berpengaruh terhadap perubahan medan magnet bumi. Jika konduktivitas perubahan yang signifikan terjadi pada komponen *H* sedangkan kecil pada komponen *Z* maka diyakini berasal dari atmosfer atau ionosfer, tapi jika terjadi konduktivitas yang besar pada komponen *Z* tetapi kecil pada komponen *H* maka diyakini sebagai akibat dari aktivitas litosfer.

Metode magnet telah memberikan sumbangsih berharga bagi prekursor gempa bumi dengan menunjukkan karakteristik gelombang saat *onset-time*. Penambahan sensor magnetometer dan jaringan GPS yang lebih luas mutlak diperlukan untuk meningkatkan presisi prekursor di masa mendatang. Salah satu

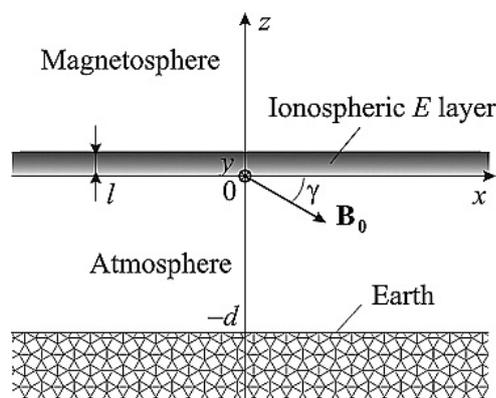
penelitian yang sedang berkembang saat ini adalah mempelajari gejala-gejala awal sebelum gempa terjadi (prekursor). Beberapa peneliti meyakini bahwa sebelum kejadian gempa akan didahului dengan perubahan-perubahan parameter fisis yang dapat di monitor. Prekursor atau tanda-tanda awal sebelum terjadinya gempa bumi, merupakan hal yang sangat penting dan sering dibicarakan. Metode magnet bumi akhir-akhir ini telah memberikan harapan baru dimana gempabumi berkekuatan besar ($M > 7$) dapat memberikan hasil prekursor cukup menyakinkan. Perbedaan nilai magnet berjendela waktu tahunan menunjukkan selisih magnet lebih besar $3nT$. Tanda-tanda prekursor magnet dengan frekuensi tinggi $f > 1$ Hz ditemukan juga pada gempabumi sedang ($M > 6$) menggunakan rekaman sensor jarak jauh. Walaupun demikian, pengamatan rekaman di sekitar episenter akan memberikan prekursor magnetik lebih menyakinkan. (Johnston, 2002).

Prekursor gempa bumi dengan magnitudo besar dapat diperoleh melalui prosedur diferensiasi dan moving-average pada sinyal geomagnetik. Prosedur diferensiasi memperlihatkan anomali sinyal geomagnetik dengan magnitudo tinggi, yang rata-rata terjadi 1–3 bulan sebelum kejadian gempa. Adapun prosedur *moving average* atas sinyal diferensiasi, hanya memperlihatkan anomali jika magnitudo gempa sangat besar atau pusat gempa yang sangat dangkal. Untuk gempa besar namun pusat gempanya cukup dalam, magnitudo anomali tidak terlalu tinggi atau bahkan sulit ditentukan karena trend data cenderung linear.

H. Sumber Spektrum ULF (*Ultra Low Frequency*)

Sumber sinyal *ULF* secara alami berasal dari internal dan eksternal. Secara eksternal, diperkirakan bahwa gelombang *Magneto Hydri Dynamic* (*MHD*) yang menjalar disekitar magnetosfer dapat mentransfer sinyal elektromagnetik dari luar

daerah magnetosfer menuju kebumi. Frekuensi tinggi dari spektrum elektromagnetik hilang saat melewati lapisan E di ionosfer (Surkov dan Pilipenko, 2014). Lapisan E ini memainkan peranan utama dalam pembentukan spektrum *ULF*. Selain itu variasi arus di ionosfer baik disebabkan oleh konduktivitas ionosfer dan dari pergerakan angin, dapat menghasilkan gangguan tambahan dalam spektrum *ULF* (Surkov dan Hayakawa., 2008).



Gambar 5. Lapisan E di ionosfer sebagai filter frekuensi tinggi pada spektrum elektromagnetik (Surkov dan Hayakawa, 2008).

Secara internal, spektrum *Ultra Low Frequency* dapat disebabkan oleh sumber elektromagnetik dari dalam bumi, contohnya aktivitas tektonik dan listrik udara (petir). Segala aktivitas yang terjadi di atmosfer bumi sedikit banyak telah memberikan dampak terhadap keadaan disekitar atmosfer bumi. Anomali emisi *ULF* yang berasosiasi dengan aktivitas seismogenik dapat diketahui dengan metode polarisasi *power ratio SZ/SH* dengan dibatasi oleh *moving average* dari standar deviasi. Penentuan waktu mula (*onset time*) dapat ditentukan apabila rasio *SZ/SH* melewati batas dari standar deviasi nya sehingga dapat ditentukan sebagai anomali emisi *ULF*, dan awal penentuan anomali emisi tersebut dinyatakan sebagai *onset time*. (Ahadi, dkk,2013)

Dalam Emisi *ULF* atau emisi sinyal dengan frekuensi yang sangat rendah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang sehingga dapat sampai ke

permukaan. Spektrum gelombang *ULF* ini adalah gelombang elektromagnetik alam yang merupakan fungsi dari parameter *solar wind*, magnetosfer, ionosfer dan litosfer. Spektrum *ULF* yang berasal dari aktivitas litosfer adalah akibat dari gempabumi (Yumoto, 2006).

I. Transformasi Fourier

Yumoto, dkk., (2009) memperkenalkan teknik polarisasi dan komparisasi sinyal untuk komponen *H* dan *Z* dalam penentuan anomali emisi *ULF* untuk prekursor gempabumi serta Transformasi fourier yang merupakan salah satu metode matematika yang digunakan untuk merubah dominan suatu input. Karena data yang terekam pada alat masih berupa data dengan domain waktu, maka perlu adanya proses yang digunakan untuk mengetahui spektrum dalam domain frekuensi yaitu dengan tranformasi fourier. Tujuan penerapan metode tersebut dalam penelitian ini adalah untuk merubah sinyal komponen Horizontal (*H*) dan komponen vertikal (*Z*) magnet dari domain waktu ke spektrum dalam domain frekuensi. Rumus umum yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$f(k) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dx \quad (14)$$

Keterangan :

$f(k)$: Fungsi dalam domain frekuensi

$x(t)$: Fungsi dalam domain waktu

i : Bilangan imajiner

t : Waktu

J. Polarisasi Z/H

Proses gempa berasal dari pergerakan lempeng bumi, dengan demikian medan magnet bumi yang di analisis adalah medan magnet utama. Adanya gangguan medan magnet luar seperti halnya badai matahari perlu diketahui sehingga mengurangi kesalahan dalam analisis. Untuk mengetahui adanya gangguan medan magnet luar akibat badai matahari digunakan data *Disturbance storm time index* (indeks *Dst*) yang dapat diperoleh secara *real time*.

Metode polarisasi rasio Z/H digunakan untuk menentukan waktu mula (*onset time*). Data yang diperlukan adalah data magnet bumi tiga komponen (X , Y , Z) dari stasiun geomagnet. Data tiga komponen tersebut merupakan komponen arah medan magnet bumi yang terukur oleh Magnetometer, dimana X merupakan medan magnet bumi komponen horizontal yang searah dengan arah utara geografis, Y merupakan medan magnet bumi komponen horizontal yang searah dengan arah timur geografis, serta Z merupakan medan magnet bumi komponen vertikal. Medan magnet bumi komponen horizontal biasa disebut sebagai komponen H . Selanjutnya memeriksa kualitas data yang diperoleh dengan mengidentifikasi *noise* pada data. Untuk mengurangi *noise* akibat aktivitas manusia, data magnet bumi yang dipergunakan dibatasi hanya pada jam 15.00 – 22.00 *UTC* (jam 23.00 – 03.00 *WIB*).

Polarisasi data magnet Z/H ditentukan dari data magnet bumi dengan resolusi temporal 1 jam. Untuk mendapatkan data magnet resolusi 1 jam dilakukan dengan merata-ratakan data magnet bumi resolusi 1 menit selama 1 jam. Identifikasi anomali geomagnet dilakukan dengan menerapkan metode korelasi polarisasi magnet Z/H , dengan menghitung rasio Simpangan koefisien korelasi (Skk) dengan Deviasi standar simpangan koefisien korelasi ($Dskk$), (Saepul dan Sunardi, 2017).

Komponen Z adalah komponen vertikal dalam instrumen *Magnetograph* yang dapat merespon dengan baik aktivitas seismogenik, begitu juga sebaliknya pada komponen H dapat merespon dengan baik aktivitas geomagnet global. Penentuan *onset time* dapat ditentukan apabila rasio SZ/SH melewati batas dari standar deviasinya, sehingga dapat ditentukan sebagai anomali emisi *ULF*.

K. *Single Station Transfer Function (SSTF)*

Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Hattori, (2004) untuk mengetahui arah anomali yang berguna dalam menunjukkan lokasi episenter gempa bumi. Fungsi transfer merupakan fungsi dari komponen bilangan kompleks Fourier yang didefinisikan sebagai sistem linier yang memiliki dua masukan (*input*) dan satu keluaran (*output*). Fungsi transfer tersebut dapat menyelesaikan suatu persamaan 24 dari komponen X , Y , dan Z geomagnet. Koefisien dianggap invarian pada durasi tertentu dan fungsi transfer memiliki informasi tentang konduktivitas listrik di bawah tanah yang disebut dengan CA (*Conductivity Anomaly*). Dengan menggunakan metode SSTF ini diharapkan dapat menunjukkan anomali beserta waktu munculnya prekursor gempa bumi (*onset time*) sekaligus estimasi lokasi episenter gempa bumi yang akan terjadi.

Besarnya arah sumber anomali magnet dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Z(\omega) = A.\Delta X(\omega) + B.\Delta Y(\omega) \quad (15)$$

$$\tan \theta = \left(\frac{B}{A}\right) \quad (16)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B}{A}\right) \quad (17)$$

Keterangan :

ΔZ : Kumpulan data magnet bumi pada komponen vertikal (nT)

ΔX : Kumpulan data magnet bumi pada komponen utara-selatan (nT)

ΔY : Kumpulan data magnet bumi pada komponen timur-barat (nT)

A : Konstanta koefisien data magnet bumi pada komponen utara-selatan

B : Konstanta koefisien data magnet bumi pada komponen timur-barat.

Simbol ω menandakan bahwa data yang digunakan telah ditransformasikan dalam domain frekuensi. Besarnya anomali magnet dan arah sumber anomali magnet dapat diketahui apabila besarnya konstanta A dan B telah diketahui, dan untuk menentukan besarnya konstanta A dan B maka digunakan inversi linier, sebagai berikut :

$$d = G m \quad (18)$$

Keterangan :

d : Matriks data (nilai $\Delta Z(\omega)$)

G : Matriks kernel (nilai $\Delta X(\omega)$ dan $\Delta Y(\omega)$)

m : Matriks model (nilai $A(\omega)$ dan $B(\omega)$)

$$\begin{bmatrix} \Delta Z1 \\ \Delta Z2 \\ \Delta Zn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta Y1 \\ \Delta X2 & \Delta Y2 \\ \Delta Xn & \Delta Yn \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (19)$$

Nilai A dan B dapat dicari dengan rumus:

$$m = [G^T \quad G]^{-1} G^T d \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta X2 & \Delta Xn \\ \Delta X1 & \Delta Y2 & \Delta Yn \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta Y1 \\ \Delta X2 & \Delta Y2 \\ \Delta Xn & \Delta Yn \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta X2 & \Delta Xn \\ \Delta X1 & \Delta Y2 & \Delta Yn \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z1 \\ \Delta Z2 \\ \Delta Zn \end{bmatrix} \quad (21)$$

L. Indeks *DST*

Indeks *Disturbanced storm time* atau yang disingkat dengan indeks *Dst* adalah suatu ukuran aktivitas geomagnet sebagai indikator terjadinya gangguan geomagnet

yang dikenal dengan badai geomagnet. Badai geomagnet ditandai dengan menurunnya pergerakan intensitas pada indeks *Dst*. Sedangkan variasi komponen *H* adalah medan magnet lokal yang diterima di bumi dari setiap pengamatan geomagnet. Variasi komponen *H* bisa juga dikatakan sama dengan indeks *Dst*, karena bila dilihat selintas indeks *Dst* mempunyai pola yang serupa dengan pola medan geomagnet komponen *H* namun bila diamati lebih terperinci lagi terdapat perbedaan yang cukup besar antara indeks *Dst* dengan medan geomagnet komponen *H*. Selanjutnya, intensitas badai geomagnet dapat diklasifikasikan dalam 4 kelas (Loewe dan Pross, 1997), seperti yang terlihat pada **Tabel 2**. Klasifikasi badai geomagnet berdasarkan besarnya intensitas *Dst* sebagai berikut :

Tabel 2. Klasifikasi badai geomagnet berdasarkan besarnya intensitas *Dst*.

No.	Klasifikasi <i>DST</i>	Intensitas <i>DST</i>
1	Lemah	$50 \leq Dst < -30$
2	Sedang	$-100 \leq Dst < -50$
3	Kuat	$-200 \leq Dst < -100$
4	Sangat Kuat	$Dst < -200$

M. Persamaan Regresi Linier

Regresi linier adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model atau hubungan antara satu atau lebih variabel bebas *X* dengan sebuah variabel terikat *Y*. Analisis regresi dengan satu variabel bebas *X* disebut sebagai regresi linier sederhana, sedangkan jika terdapat lebih dari satu variabel bebas *X*, disebut sebagai regresi linier berganda. Regresi linier berganda digunakan dalam menganalisis pengaruh antara lebih dari satu variabel bebas terhadap variabel terikat (Ryan dan Porth, 2007).

Analisis regresi linier memiliki 3 kegunaan diantaranya sebagai deskripsi dari suatu fenomena kasus yang diteliti, sebagai kontroling suatu kasus menggunakan model regresi yang diperoleh dan terakhir digunakan sebagai prediksi untuk variabel terikat. Namun, prediksi dalam konsep regresi hanya dapat digunakan dalam rentang data yang digunakan sebagai input untuk variabel X termasuk dalam rentang tersebut. Konsep ini juga disebut sebagai interpolasi (Kutner, dkk., 2004).

N. Koefisien Korelasi

Korelasi merupakan istilah yang digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antarvariabel. Analisis korelasi adalah cara untuk mengetahui ada atau tidak adanya hubungan antarvariabel. Kekuatan hubungan antar variabel dapat dilihat dari hasil nilai koefisien korelasi. Koefisien korelasi ialah pengukuran statistik kovarian atau asosiasi antara dua variabel. Besar koefisien korelasi dapat diketahui berdasarkan penyebaran titik pertemuan antara dua variabel. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara $+1$ s/d -1 . Koefisien korelasi menunjukkan kekuatan (*strength*) hubungan linier dan arah hubungan dua variabel acak. Jika koefisien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah serta memiliki keterkaitan yang sangat kuat. Artinya jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan tinggi pula. Sebaliknya, jika koefisien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik. Artinya, jika nilai variabel X tinggi, maka nilai variabel Y akan menjadi rendah (dan sebaliknya). Semakin kecil koefisien korelasi, maka akan semakin besar kesalahan untuk membuat prediksi. Untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara variabel penulis memberikan

kriteria sebagai berikut (Sarwono,2006). Berikut merupakan pembagian perhitungan koefisien korelasi :

Tabel 3. Rentang Nilai Koefisien Korelasi

No.	Rentang Nilai	Korelasi
1.	0	Tidak ada korelasi antara dua variabel
2.	>0-0.25	Korelasi Sangat Lemah
3.	>0.25-0.5	Korelasi Cukup
4.	>0.5-0.75	Korelasi Kuat
5.	0.75-0.99	Korelasi Sangat Kuat
6.	1	Korelasi Sempurna

Koefisien korelasi dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}} \quad (22)$$

Keterangan :

r = Nilai korelasi validitas

n = Banyaknya subjek

X = Nilai pembanding

Y = Nilai dari variable yang akan dicari validitasnya (Sugiyono,200).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Tempat : Badan Metereologi dan Klimatologi Geofisika (BMKG) Pusat,
Jakarta Pusat, Bidang Geofisika Potensial dan Tanda Waktu BMKG.

Waktu : 01 Oktober 2018 sampai dengan 01 Desember 2018

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Data Station Magnet Bumi daerah Bayan, Lombok.
2. Laptop
3. Software *Ms. Excel 2013*
4. Software *Arc Map 10.1*
5. Software *Matlab GUI*

C. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengolah data magnet harian yang terekam pada magnetometer LEMI 018 pada stasiun Bayan, Lombok dalam bentuk data biner untuk digunakan sebagai prekursor gempabumi.
2. *Smoothing* data serta mengisi data yang kosong dengan data trend stasiun bayan yang berguna untuk mengurangi pengaruh akibat aktivitas geomagnet

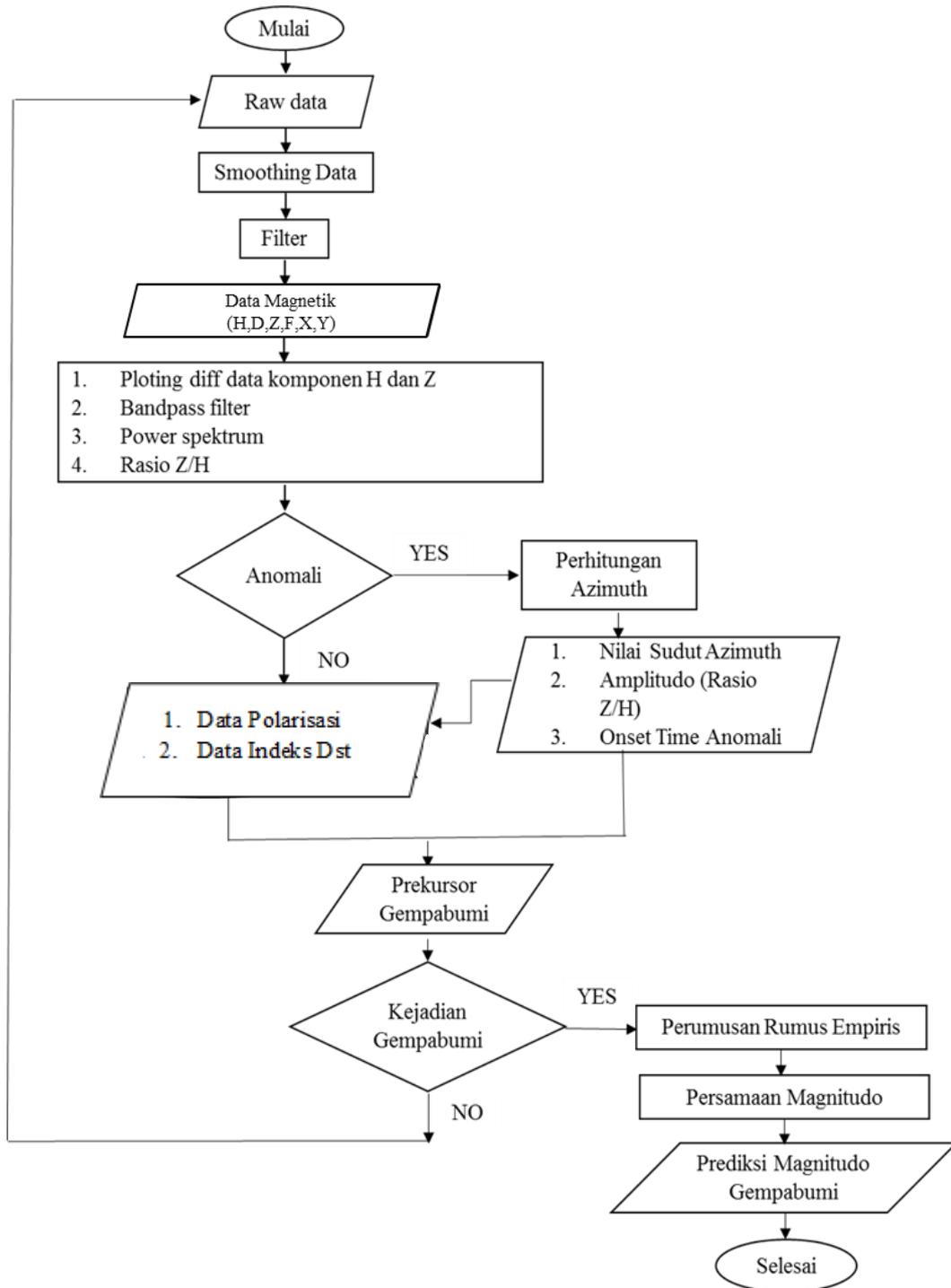
global, sehingga akan dihasilkan data dengan komponen (H,D,Z,F,X,Y) pada setiap jam dalam kurun waktu satu hari. Data akan otomatis tersimpan pada *correction file* dalam format *.cor*.

3. Kemudian data yang digunakan hanya komponen H dan Z saja, data tersebut dilakukan proses plotting *diff* yang menunjukkan selisih data dengan kriteria data tidak melebihi 1, dan menghasilkan *spectrogram* dengan warna pada gambar merupakan power spektrum yang menunjukkan semakin tinggi frekuensi maka power spektrumnya semakin lemah.
4. Selanjutnya dilakukan proses *Band Pass Filter* untuk mengetahui pada frekuensi berapa intensitas *power* dari anomali muncul serta mengetahui power spektrum yang menunjukkan rentang gelombang dari komponen H dan Z juga dan melakukan transformasi fourier untuk merubah data dari domain waktu dalam bentuk domain frekuensi.
5. Selanjutnya pengolahan metode polarisasi rasio Z/H dengan membagi power spektrum H dengan power spektrum Z untuk mengetahui selisih data yang menunjukkan *onset time* dari suatu anomali.
6. Dari proses tersebut jika terdapat anomali pada setiap jamnya maka akan tercatat pada *azimuth* yang menunjukkan waktu anomali muncul, sudut *azimuth* dan amplitudo.
7. Selanjutnya melakukan validasi data polarisasi Z/H dengan Indeks *DST* untuk mengetahui penyebab anomali tersebut muncul dari aktivitas litosfer atau ionosfer.
8. Data hasil pengolahan tersebut merupakan prekursor dari gempabumi yang kemudian divalidasi dengan informasi kejadian gempabumi pada bulan

Agustus-November 2018 seperti titik pusat gempa, magnitudo gempa, dan kedalaman gempa yang terjadi sesuai dengan prekursor gempabumi tersebut.

9. Setelah divalidasi melakukan perhitungan persamaan empiris untuk memprediksi magnitudo dengan menggunakan 12 data gempa tersebut.
10. Selanjutnya melihat koefisien korelasi dari hasil persamaan empiris tersebut, jika nilai R^2 mendekati 1 menandakan adanya saling keterkaitan antara data tersebut.

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan anomali magnetik Z/H pada saat akan terjadi gempabumi disebabkan oleh aktivitas litosfer atau pergerakan lempeng bumi. Semakin besar amplitudo anomali maka semakin besar magnitudo gempabumi.
2. Setiap gempabumi akan didahului oleh munculnya anomali magnetik, hal ini dapat digunakan sebagai prekursor gempabumi. Dengan leadtime antara anomali magnetik sampai terjadinya gempabumi adalah 173-658 Jam.
3. Persamaan empiris prekursor gempabumi berdasarkan data anomali magnet bumi, dengan parameter antara amplitudo, jarak dan magnitudo adalah $M=0.670*A + 0.001*S + 4.346$ dengan koefisien korelasi yang didapatkan (R^2) adalah 85%.

B. Saran

Saran untuk pengembangan penelitian tentang prekursor gempabumi menggunakan data magnetik ini perlu adanya data pendukung dari stasiun magnetik lain sebagai stasiun referensi yang jaraknya dekat dengan stasiun pengamatan agar hasil yang diperoleh lebih akurat lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Ahadi, S., Puspito, N.T., Ibrahim, G. dan Saroso, S. 2012. Determination *Onset time* of Earthquake Precursor by Analizing ULF-EM Emission Signal in Sumatra region, *Proceeding Conference on Applied Electromagnetic Technology (AEMT)*, Lombok. hal. 22-26.
- Ahmad, S.N.A., Jusoh, M.H., Salleh, M.K.M., dan Assilam, M.F. 2012. Data Processing Method For Geomagnetik Data Observation of MAGDAS/CPMN System, *Journal MAGDAS/CPMN Group*. Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi MARA Shah Alam, Selangor, Malaysia.
- Ahadi, S., Puspito, N.T., Saroso, S., Ibrahim, G., Siswoyo. dan Suhariyadi., 2013. Prekursor Gempa Bumi Padang 2009 Berbasis Analisis Power Rasio dan Fungsi Transfer Tunggal, *Jurnal Ilmia Geomatika*, Badan Informasi Geospasial. Bogor. hal. 49-56.
- Ahadi, S., Puspito, N.T., Ibrahim, G. dan Saroso, S. 2014. Determination of The *Onset time* in Polarization Power Ratio Z/H for Prekursor of Sumatra Earthquake, *AIP Conference Proceeding*. American Institute of Physics. Maryland. hal. 75-78.
- A. Loewe and G.W. Pross. 1997. Classification and Mean Behavior of Magnetik Storms, *Journal of Geophysical Research* 102 14209-14213.
- Daryono. 2011. Identifikasi Sesar Naik Belakang Busur (Back Arc Thrust) Daerah Lombok Berdasarkan Seismisitas dan Solusi Bidang Sesar, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.

- Dena, K. 2012. *Kondisi Geologi dan Topografi Pulau Bali Singaraja*. Geografi USB.
- Fenoglio, M.A., Johnston, M.J.S. dan Byerlee, J.D., 1995, Magnetic and electric fields associated with changes in high pore pressure in fault zones, Application to the Loma Prieta ULF emissions, *Journal Geophys.Res*, 100 (B7), 12951-12958.
- Hattori, K., 2004, ULF Geomagnetic Changes Associated with Large Earthquake, *Journal Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO)*, Vol.15, No. 3, 329-360.
- Hattori, K., Serita, A., Yoshino, C., Hayakawa, M., dan Isezaki, N. 2006. Singular Spectral analysis and principal component analysis for signal discrimination of ULF geomagnetik data associated with 2000 Izu Island Earthquake Swarm, *Proceedings Physics and Chemistry of the Earth*. 31, 2006,281-291.
- Hayakawa, M., 1999, *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes*, Tokyo : Terra Publishing Company.
- Hayakawa, M., Yumoto, K., Roeder, J.L., Koons, H.C. dan Hobara, Y., 2003, Characteristics of ULF magnetic anomaly before earthquakes, *Proceeding Physics and Chemistry of the Earth*, 29, 437-444
- Ibrahim, G., Ahadi, S., dan Saroso., S. 2012. Karakteristik Sinyal Emisi ULF yang Berhubungan dengan Prekursor Gempa Bumi di Sumatera, Studi Kasus: Gempa Bumi Padang 2009 dan Gempa Bumi Mentawai 2010, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Puslitbang Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta, hal. 81-89.
- Ibrahim, G. dan Subarjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.

- Johnston, M.J.S. 2002. *Electromagnetic Field Generated by Earthquakes, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology (IASPEI)*, Academic Press.
- Sarwono, J., 2006. *Metode Penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Kamogawa M., (2004): Preseismic Lithosphere-Atmosphere-Ionosfer Coupling, *EOS Trans. American Geophysic Union*. Vol.87.Issue 40.417-424.
DOI: 10.1029/2006EO400002.
- Kanamori, H. 1977. The energy release in great earthquake. *Journal Geophys. Res.* 82, 2981-2987.
- Khuswah, V.K. and Singh, B. 2004. Initial Results of Ultra Low Frequency Magnetik Field Observations at Agra And Their Relation with Seismic Activities, *Current Science*, Vol.87, No.3.
- Kovtun, A.A., 1980, *Using of Natural Electromagnetic Field of the Earth under Studying of Earth's Electroconductivity*, Lenigrad University.
- Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Neter, J. 2004. *APPLIED LINEAR REGRESSION MODELS*. Fourth Ed. Mc Graw Hill Irwin. New York.
- Lay, T. and Wallace, T.C. 1995. *Modern Global Seismologi*, Academic Press, USA.
- Mahanani, P. 2016. Penentuan Rumus Empiris Magnitudo Gempa Bumi Lokal Di Wilayah Sulawesi Barat dan Sulawesi Tengah Melalui Nilai Periode Dominan, *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, Volume 05 Nomor 02 Tahun 2016, hal 9-11.

- Mogi, K., 1985, Earthquake Prediction, *Academic Press*, Hal. 355.
- Molchanov, O.A. dan Hayakawa, M., 1995, Generation of ULF electromagnetic emissions by microfracturing, *Proceeding Geophys. Res. Lett.* 22, 3091-3094.
- Molchanov, O.A. dan Hayakawa, M., 1998, On the generation of ULF seismogenic electromagnetic emissions, *Proceeding Phys. Earth Planet. Int.* 10 210.
- Pakpahan, S., Nurdiyanto, B., Ngadmanto, D. 2014. Analisis Parameter Geo-Atmosferik dan Geokimia sebagai Prekursor Gempa Bumi di Pelabuhan Ratu, Sukabumi, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Puslitbang Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta. hal. 77-86.
- Pumomo, D., 2010. *Pulau Bali Singaraja*. Geografi USB.
- Rachman, A., Widodo, A., dan Pandu, J. 2017. Penentuan Magnitudo Gempabumi dengan Menganalisis Amplitudo Anomali Magnetik Prekursor Gempabumi dan Jarak Hypocenter. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 6, No.2.
- Ryan, S.E. and Porth, L.S. 2007. *A Tutorial on The Piecewise Regression Approach Applied to Bedload Transport Data*. Rocky Mountain Research Station. Amerika Serikat.
- Saepul, A., dan Sunardi, B. 2017. Korelasi Polarisasi Magnet Z/H Untuk Identifikasi Prekursor Gempa Disekitar Labuhan Ratu, Spektra *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Volume 2, No 3.

- Subakti, H., 2012, *Modul Prediksi Gempabumi*, Jakarta : Akademi Meteorologi Dan Geofisika.
- Sugiyono, 2007. *Statistika Untuk Penelitian Bandung*: CV Alfabeta.
- Surkov, V.V. and Hayakawa, M. 2008. Natural Electromagnetik ULF Noise Due to Fluctuations of ionospheric Currents, *Journal General Physics*, Moskow Engineering Physics Institute, Moscow, Rusia.
- Surkov, V.V. and Plipenko, V.A. 2014. Estimate of ULF Electromagnetik Noise Caused by Fluid Flow During Seismic or Volcano Activity, *Journal Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 2, 6475-7497,2014.
- Telford, W.M., L.P. Geldart ., dan Sheriff, R.E. 1976. *Applied Geophysics*. NewYork: Cambridge University Press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics Se Edition*. London: Cambridge University Press.
- Wulandari, T. 2015. Identifikasi Anomali Emisi Ultra Low Frequency Sebagai Prekursor Gempa Bumi Di Wilayah Sumatera, Jurusan Geofisika. Sekolah Tinggi Metereologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta
- Yumoto, K., 2006, MAGDAS project and its application for space weather, *Journal Solar Influence on the Heliosphere and Earth's Enviroment : Resent Progress and Prospect*, 81-87099-40-2, (ISBN : 399-405).
- Yumoto, K., Ikemoto, S., Cardinal, M.G., Hayakawa, M., Hattori, K., Liu, J.Y., Saroso, S., Ruhimat, M., Husni, M., Widarto, D., Ramos, E., Mc Namara, D., Otadoy, R.E., Yumul, G., Ebor, R. dan Servando, N., 2009, A new ULF wave analysis for Seismo-Electromagnetik, *Proceeding Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 360-366.