

**ANALISIS ANOMALI SINYAL *ULTRA LOW FREQUENCY*
BERDASARKAN DATA PENGUKURAN GEOMAGNETIK
SEBAGAI INDIKATOR PREKURSOR GEMPABUMI
WILAYAH LAMPUNG TAHUN 2016**

(Skripsi)

Oleh

ULFA WAHYUNINGSIH



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

ANALYSIS OF ULTRA LOW FREQUENCY SIGNAL ANOMALIES BASED ON MEASUREMENT DATA AS AN INDICATOR OF THE GEOMAGNETIC EARTHQUAKE PRECURSOR OF LAMPUNG IN 2016

By

Ulfa Wahyuningsih

ABSTRACT

Regional research had been done to analysis anomalies signal of ultra low frequency based on measurement data as an indicator of the geomagnetic earthquake precursor of lampung in 2016. To achieve purpose of the study conducted by the following steps: (i) Calculation of the total magnetic field of data; (ii) Daily Trend Analysis; (iii) the Fourier transform of the data Geomagnetic Anomaly; (iv) Localization Frequency ULF; (v) Calculation of Ratio Vertical-Horizontal (Polarization Ratio Z / H); (vi) Correction magnetic storms or *Disturbance Strom Time* (DST); (vii) the identification of earthquake precursors; (viii) Determination of *OnsetTime*, *leadtime*, and the direction of precursors. The results of the analysis of ten earthquakes with a magnitude above 5 MW have precursors between 11 to 30 days before an earthquake. Nine out of ten earthquakes studied had an earthquake precursors and precursors that do not have, this is because the distance is too far from the station Magdas in Liwa, West Lampung. Thus it can be seen that the precursor using the magnetic data can be used to make short-term predictions.

Keywords: Earthquake Lampung region, ULF emissions, precursors of earthquakes.

**ANALISIS ANOMALI SINYAL *ULTRA LOW FREQUENCY*
BERDASARKAN DATA PENGUKURAN GEOMAGNETIK
SEBAGAI INDIKATOR PREKURSOR GEMPABUMI
WILAYAH LAMPUNG TAHUN 2016**

Oleh

Ulfa Wahyuningsih

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang analisis anomali sinyal pada spektrum frekuensi yang sangat rendah berdasarkan data pengukuran geomagnetik sebagai indikator prekursor gempabumi wilayah Lampung tahun 2016. Untuk mencapai tujuan penelitian dilakukan berdasarkan tahapan berikut ini (i) Perhitungan data medan magnet total; (ii) Analisis Tren Harian; (iii) Transformasi Fourier data Anomali Geomagnetik; (iv) Lokalisasi Frekuensi ULF ; (v) Perhitungan Ratio Vertikal-Horizontal (Polarisasi Ratio Z/H) ; (vi) Koreksi badai magnet atau *Disturbance Strom Time* (DST); (vii) Identifikasi Prekursor gempabumi; (viii) Penentuan *Onset Time*, *lead time*, dan arah prekursor. Hasil analisis sepuluh gempabumi dengan magnitudo diatas 5 Mw memiliki prekursor antara 11 sampai 30 hari sebelum terjadi gempabumi. Sembilan dari sepuluh gempabumi yang diteliti memiliki prekursor dan satu gempabumi yang tidak memiliki prekursor, hal ini dikarenakan jaraknya yang terlalu jauh dari stasiun MAGDAS di Liwa, Lampung Barat. Dengan demikian dapat diketahui bahwa prekursor menggunakan data magnetik tersebut dapat digunakan untuk melakukan prediksi jangka pendek.

Kata Kunci : Gempabumi Wilayah Lampung, emisi ULF, Prekursor gempabumi.

**ANALISIS ANOMALI SINYAL *ULTRA LOW FREQUENCY*
BERDASARKAN DATA PENGUKURAN GEOMAGNETIK
SEBAGAI INDIKATOR PREKURSOR GEMPABUMI
WILAYAH LAMPUNG TAHUN 2016**

Oleh

ULFA WAHYUNINGSIH

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
2017**

Judul Skripsi : ANALISIS ANOMALI SINYAL *ULTRA LOW FREQUENCY* BERDASARKAN DATA PENGUKURAN GEOMAGNETIK SEBAGAI INDIKATOR PREKURSOR GEMPABUMI WILAYAH LAMPUNG TAHUN 2016

Nama Mahasiswa : Ulfa Wahyuningsih

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315051056

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.
NIP 19730716 200012 1 002

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

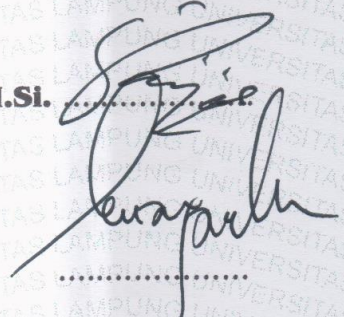
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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

**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Agustus 2017

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 21 Agustus 2017



Ulfa Wahyuningsih

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 10 November 1995, anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Sumali dan Ibu Suginah.

Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 4 Kertosari, Kec. Tanjung Bintang Kab. Lampung Selatan diselesaikan pada tahun 2007, pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Tanjung Sari Kab. Lampung Selatan diselesaikan pada tahun 2010, pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Al-Azhar 3 Bandar Lampung Prov. Lampung diselesaikan pada tahun 2013.

Pada tahun 2013, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Penulis terdaftar sebagai anggota bidang Sosial Budaya Masyarakat pada periode 2014/2015. Pada bulan Januari tahun 2016 penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Bumi Ayu, Jawa Tengah bersama dengan PSDG (Pusat Sumber Daya Geologi). Pada bulan Juli tahun 2016 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Uman Agung, Kecamatan Bandar Mataram, Kabupaten Lampung Tengah.

PERSEMBAHAN

Aku persembahkan Karyaku ini untuk

Allah SWT

Atas segala nikmat dan berkah yang senantiasa
aku rasakan dalam menyelesaikan skripsiku ini

Ibuku Tercinta

Berkat Do'a dan kebaikan yang senantiasa selalu ibu berikan kepadaku, atas segala cinta kasih dan sayang yang selalu ibu tunjukkan kepadaku semuanya akan selalu ku ingat sampai kapanpun, hingga saat waktuku telah habis untuk mengingat segala yang ibu berikan aku akan selalu sayang ibu...

Bapakku Terkasih

Terimakasih atas segala usaha dan kerja keras
Sehingga segala kebutuhanku dapat kau penuhi

Mamakku Tersayang

Ibu kedua aku yang selalu ada disaat aku senang maupun sedih
terimakasih untuk segala ketulusan yang engkau berikan

Almarhum Kakung

Semoga Allah senantiasa memberikan tempat istimewa untukmu kung

Adik-adikku (Destia, Arif dan Novi)

Terimakasih atas segala bentuk dukungan kalian

MOTTO

Just do it, If you never try, you never know.

ULF

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah S.W.T yang telah melimpahkan segala rezeki, petunjuk, dan ilmu kepada penulis, sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam semoga selalu untuk nabiNya yakni Muhammad S.A.W.

Skripsi yang berjudul “Analisis Anomali Sinyal *Ultra Low Frequency* Berdasarkan Data Pengukuran Geomagnetik Sebagai Indikator Prekursor Gempabumi Wilayah Lampung Tahun 2016” merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di BMKG Kotabumi, Lampung Utara.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bermanfaat untuk penambahan ilmu dimasa yang akan datang. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun kearah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Penulis

Ulfa Wahyuningsih

SANWACANA

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

1. **Allah S.W.T** yang senantiasa memberi nikmat dan berkah dalam melancarkan segala proses tugas akhirku hingga akhirnya aku dapat menyelesaikannya dengan baik.
2. **Ibu dan Bapakku** tercinta, atas segala yang telah diberikan, atas segala inspirasi dan motivasi terbesarku untuk dapat menyelesaikan pendidikan. Terimakasih bu, terimakasih pak atas segala kebaikan yang telah diberikan kepadaku. Aku sangat bangga dan bahagia bisa dititipkan oleh Allah kepada orang tua sebaik kalian. Semoga Allah memberikan kita umur yang panjang dalam kesehatan dan kebahagiaan agar bersama-sama kita dapat menikmati keberhasilanku.
3. **Mamak dan Alm. Bapak (mbah kakung)** tersayang yang telah merawat dan membesarkanku dengan penuh kasih dan sayang hingga akhirnya aku dapat menempuh pendidikan sarjanaku, semoga ulfa bisa bahagiain mamak yah mak, semoga umur kita sama-sama panjang biar bisa do'ain kakung di depan ka'bah.
amin

4. **Om agus dan bulek darti** yang udah bantu jagain ulfa waktu kecil, terimakasih juga untuk Alm. tante ratih, om budi, dan tante santi untuk semua kebaikannya.
5. Adik-adikku (**Destia, arif dan novi**) makasih diks udah ngehibur mbak upa kalo lagi sedih.
6. **Bapak Rudianto, S.T., M.Sc.**, selaku pembimbing sewaktu penelitian yang telah memberikan bimbingan dan saran kepada penulis selama pelaksanaan penelitian.
7. **Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
8. **Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**, selaku dosen pembimbing I atas semua kesabaran, bimbingan, kritikan, saran dan kesedian untuk meluangkan waktu disela-sela kesibukan.
9. **Bapak Karyanto, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya, memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
10. **Bapak Prof. Drs. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan nasehat, baik untuk skripsi ataupun untuk masa depan penulis.
11. **Bapak Rustadi, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing akademik selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
12. **Bapak R. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**, yang telah mendukung penulis untuk dapat melaksanakan tugas akhir di BMKG Kotabumi.
13. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah berbagi ilmu dan pengalaman selama perkuliahan.

14. **Alm. Pak Kholid** dan **Pak Yadi** yang telah mengajarkan penulis banyak hal sewaktu kerja praktik serta **Ibu Misda** yang sudah seperti ibu sendiri yang selalu mendukung, mendengarkan dan menasehati penulis akan segala hal.
15. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Pak Marsuno** dan **Mbak Dewi** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi;
16. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kotabumi sebagai institusi yang telah memberi kesempatan untuk melaksanakan Tugas Akhir.
17. **Bapak Joharman, S.H** selaku pimpinan BMKG Kotabumi yang telah mengizinkan dan membantu penulis dalam melaksanakan Tugas Akhir.
18. **Mba Ferina, Mas Gatut** dan **Mbak Maya**, yang telah banyak membantu dan memotivasi serta memberikan inspirasi yang baik bagi penulis selama melaksanakan tugas akhir di BMKG Kotabumi.
19. **Mba Juwita, Mba Fadiah, Mba Dewi, Mba Vibri, Mas Devid, Pak Tris, Pak Agung, Bu Titi** serta seluruh pegawai BMKG Kotabumi yang telah banyak membantu penulis saat melaksanakan Tugas Akhir.
20. Teman seperjuangan selama melaksanakan tugas akhir di BMKG Kotabumi yaitu **Pipit** dan **Deswita** yang telah berbagi ilmu dan memotivasi penulis.
21. Temen bareng-bareng dari maba yang kalo udah *ngebasecamp* dikosan **yase** sampe capek (**Yase, Alicya, Herlin, Hanun** dan **Dian**).
22. Teman sepersulitan, temen main, temen belajar, temen ngedraft yang nggak mungkin dilupain **Atikah** (Tikuy) wkwk dan **Eci** yang udah sering dengerin ulfa curhat hehe

23. Teman seperjuangan saat KP (**Wuri**) yang telah memberi dukungan dan memilihkan foto kenang-kenangan untuk ulfa, serta **Dian, Endah,** dan **Cahaya** yang udah memberikan dukungan serta semangat serta membantu ulfa.
24. Temen seperjuangan TA di lab **Ririn, Dwi** dan **Bana.** sekaligus Temen curhat, temen nebeng, temen yang baik.
25. Pak **Suwani** dan ibu carik yang udah nampung penulis waktu KKN bareng Fatimah, Mbak Gita, Fina, Putri, Berta, dan Faiq, terimakasih atas segala kebaikannya pak, bu.
26. Teman-teman seangkatan 2013 : **Agung, Ale, Atikah, Aji, Aristo, Abdi, Nafis, Imron, Bunga, Cahaya, Des, Dian, Dodi, Dwi, Eci, Edi, Egi, Endah, Farhan, Haidar, Helton, Aloy, Kubel, Fajri, Suryadi, Rejak, Nico, Noris, Putu, Prista, Rafi, Vide, Pipit, Ririn, Dono, Siska, Udin, Bana, Elin, Bujang, Kholil, Wuri, Yase, Winda, Feni, Jujun, Hanun, Bunga, Widia, dan Ujep.**
27. Keluarga Besar Teknik Geofisika Unila angkatan 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 dan 2016 yang telah memberikan dukungan, do'a dan semangat untuk penulis.
28. Temen SMA tapi selalu ada sampe kuliah **Linda, Puji, Laras, Rima** dan **Windy** makasih yah udah jadi temen ulfa dari SMA sampe sekarang.
29. Temen Satu jurusan tapi beda kampus yang udah dukung dan membantu banyak hal (**Husaini**). *Next* gua yang masuk kuliah di kampus Ganesha itu yah sen. Hehe
30. Terimakasih banyak atas semua pihak yang telah terlibat,

Penulis

Ulfa Wahyuningsih

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
PERSETUJUAN	iii
PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
PERSEMBAHAN	vii
MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Batasan Masalah	3
D. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	

A. Daerah Penelitian.....	5
B. Tataan Tektonik Daerah Penelitian .	6
C. Kondisi Geologi Daerah Penelitian .	8
D. Riwayat Kegempaan Wilayah Lampung.....	10

BAB III TEORI DASAR

A. Teori Gempabumi.....	11
a. Klasifikasi Gempabumi	12
b. Proses Seismogenesis	13
c. Area Persiapan Gempabumi	14
B. Prekursor Gempabumi Berdasarkan Fenomena Medan EM.....	14
a. Anomali Medan Listrik	16
b. Gelombang Elektromagnetik.....	16
c. Prekursor Elektromagnetik	18
d. Peningkatan Emisi ULF Pada Patahan Batuan	19
e. Penentuan Spektrum Emisi ULF untuk Prekursor Gempabumi	21
C. Indeks <i>DST</i> (<i>Disturbance Strom Time</i>)	23
D. <i>Single Station Transfer Function</i> (SSTF).....	23

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	26
B. Alat dan Bahan Penelitian	26
C. Prosedur Penelitian	26
D. Diagram Alir.....	29
E. Jadwal Kegiatan	30

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	31
B. Pembahasan	35
a. Gempabumi 29 Maret 2016.....	35
b. Gempabumi 10 April 2016.....	37
c. Gempabumi 02 Mei 2016.....	40
d. Gempabumi 18 Juni 2016	42
e. Gempabumi 11 Juli 2016	44
f. Gempabumi 23 Juli 2016.....	47
g. Gempabumi 05 Agustus 2016.....	49
h. Gempabumi 07 Agustus 2016.....	52
i. Gempabumi 12 Agustus 2016.....	54
j. Gempabumi 07 November 2016.....	57

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	58
B. Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Koordinat Gempabumi Daerah Penelitian.....	5
2. Tektonik Lempeng Sumatera (Barber dkk, 2005).....	7
3. Model Bingkai Elastik (Stein dan Wysession, 2003).....	12
4. Komponen-komponen Medan Magnet Bumi (McPherron, 1998)... ..	18
5. Diagram Alir.....	29
6. Data Normal Tren Komponen H.	31
7. Indeks <i>DST</i> Februari 2016.....	35
8. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	36
9. Polarisasi Rasio Z/H 27 Februari 2016.	36
10. Azimut Gempabumi 29 Maret 2016.....	37
11. Indeks <i>DST</i> Maret 2016.....	38
12. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	39
13. Polarisasi Rasio Z/H 26 Maret 2016.	39
14. Azimut Gempabumi 10 April 2016.....	39
15. Indeks <i>DST</i> April 2016.....	40
16. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	41
17. Polarisasi Rasio Z/H 20 April 2016.	41

18. Azimut Gempabumi 02 Mei 2016.....	42
19. Indeks <i>DST</i> Mei 2016.....	42
20. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	43
21. Polarisasi Rasio Z/H 7 Juni 2016.	44
22. Azimut Gempabumi 18 Juni 2016.....	44
23. Indeks <i>DST</i> Juni 2016.....	45
24. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	46
25. Polarisasi Rasio Z/H 24 Juni 2016.	46
26. Azimut Gempabumi 11 Juli 2016.	46
27. Indeks <i>DST</i> Juli 2016.	47
28. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	48
29. Polarisasi Rasio Z/H 6 Juli 2016.	48
30. Azimut Gempabumi 23 Juli 2016.	49
31. Indeks <i>DST</i> Juli 2016.	50
32. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	51
33. Polarisasi Rasio Z/H 16 Juli 2016.	51
34. Azimut Gempabumi 5 Agustus 2016.	51
35. Indeks <i>DST</i> Juli 2016.	52
36. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	53
37. Polarisasi Rasio Z/H 27 Juli 2016.	53
38. Azimut Gempabumi 7 Agustus 2016.	54
39. Indeks <i>DST</i> Juli 2016.	55
40. Data Sebelum Dan Sesudah FFT.....	56
41. Polarisasi Rasio Z/H 21 Juli 2016.	56

42. Azimut Gempabumi 12 Agustus 2016.	56
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ukuran area persiapan gempabumi.	14
2. Riwayat Gempabumi yang berhubungan dengan fenomena EM.	15
3. Jadwal Penelitian.	30
4. Contoh Data Magnetik Stasiun LWA.	32
5. Contoh Data dalam domain Frekuensi.	32
6. Hasil Analisis Spektrum Sinyal ULF Tahun 2016.	34

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pulau Sumatera merupakan salah satu wilayah yang rentan terhadap bahaya gempa bumi. Menurut (Sieh dan Nathawidjaja, 2000) salah satu penyebabnya yaitu karena adanya Sistem Sesar Sumatera atau *Sumateran Fault System (SFS)* yang berasosiasi dengan zona subduksi dan mengakomodasi sejumlah *strike-slip* secara signifikan pada batas lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Selain itu sesar tersebut termasuk kedalam segmen patahan aktif yang terbentang dari Laut Andaman sampai ke Teluk Semangko.

Aktivitas dari sesar tersebut telah menyebabkan beberapa wilayah di Pulau ini sering mengalami gempa bumi. Salah satunya gempa bumi dengan magnitudo 6,9 Mw di wilayah Liwa pada tahun 1994 pada koordinat 5,15°LS hingga 104,27°BT, dimana gempa tersebut telah menyebabkan korban jiwa dan merusak sejumlah rumah penduduk (Mulyono, dkk, 2004).

Sampai saat ini penelitian tentang tanda-tanda awal (prekursor) sebelum terjadinya gempa bumi (*pre-seismic*) masih terus dikembangkan, karena prediksi sebelum terjadinya gempa tersebut masih menjadi masalah yang sensitif di kalangan masyarakat. Pada dasarnya telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui prekursor dari gempa bumi tersebut.

Salah satu penelitian yang dilakukan adalah menghubungkan fenomena gempa bumi dengan fenomena medan elektromagnetik (EM). Fenomena emisi elektromagnetik yang terdeteksi sebelum gempa bumi terjadi ini adalah anomali medan listrik vertikal. Pada dasarnya penelitian mengenai perubahan

ULF ialah salah satu frekuensi sinyal magnetik yang berhubungan dengan adanya *event* seismik yang besar, dimana *range* frekuensi ini berkisar antara 0.01-10 Hz (Fraser, 1990). Sinyal *Ultra Low Frequency* (ULF) diyakini dapat digunakan untuk memantau aktivitas kerak bumi, karena sinyal tersebut mampu terdeteksi hingga kedalaman dimana aktivitas kerak bumi tersebut berlangsung, selain itu apabila dibandingkan dengan sinyal frekuensi yang lebih tinggi, sinyal ULF lebih mudah terdeteksi ke permukaan karena memiliki panjang gelombang yang lebih panjang sedangkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi akan terserap oleh medium (Yumoto, dkk, 2009).

Hayakawa, dkk, (2003) melakukan analisis data dari tahun 1992 sampai 1994 menggunakan tiga komponen data magnetik terhadap gempa bumi Guam, dimana gempa bumi terjadi di pertengahan periode dan terjadi peningkatan anomali komponen H dan Z sebelum gempa bumi terjadi. Pada gempa bumi Biak, tanggal 17 februari 1996 dengan Mw 8,2 yang berjarak 100 km dari stasiun magnet bumi Biak (LAPAN), tercatat adanya peningkatan emisi elektromagnetik beberapa bulan sebelum gempa bumi terjadi.

Selain itu, penelitian prekursor gempa bumi dengan menggunakan data magnetik ini juga telah dilakukan oleh Ahadi, dkk, (2013) pada gempa bumi yang terjadi di Padang dengan kekuatan 7,6 Mw pada tahun 2009. Dimana penelitian tersebut berhasil menentukan waktu tiba (*onset time*) 26 hari sebelum gempa bumi

terjadi dengan arah konduktifitasnya yang menunjukkan ke arah Selatan – Barat Daya (S – SW) serta azimut terhadap episenter gempabumi $205,9^\circ$.

Oleh karena itu, studi tentang prekursor gempabumi menggunakan data magnetik ini pada dasarnya penting dilakukan dalam mengembangkan usaha untuk mengurangi dampak dari gempabumi atau mitigasi bencana gempabumi dengan mengidentifikasi anomali sinyal *ULF* sebagai indikator adanya gempabumi.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui parameter anomali sinyal ULF dikatakan sebagai indikator prekursor gempabumi.
2. Mengetahui waktu mula (*onset time*) peningkatan sinyal ULF sebelum terjadinya gempabumi.
3. Mengetahui arah yang menunjukkan episenter gempabumi dari anomali sinyal ULF yang terekam.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah mengidentifikasi anomali sinyal *Ultra Low Frekuensi (ULF)* yang terekam pada stasiun MAGDAS (*Magnetic Data and Acquisition System*) di Liwa sebagai indikator prekursor gempabumi pada wilayah Lampung pada tahun 2016 dengan magnitudo $> 5,0$ Mw dan jarak dari episenter ke stasiun ≤ 400 Km.

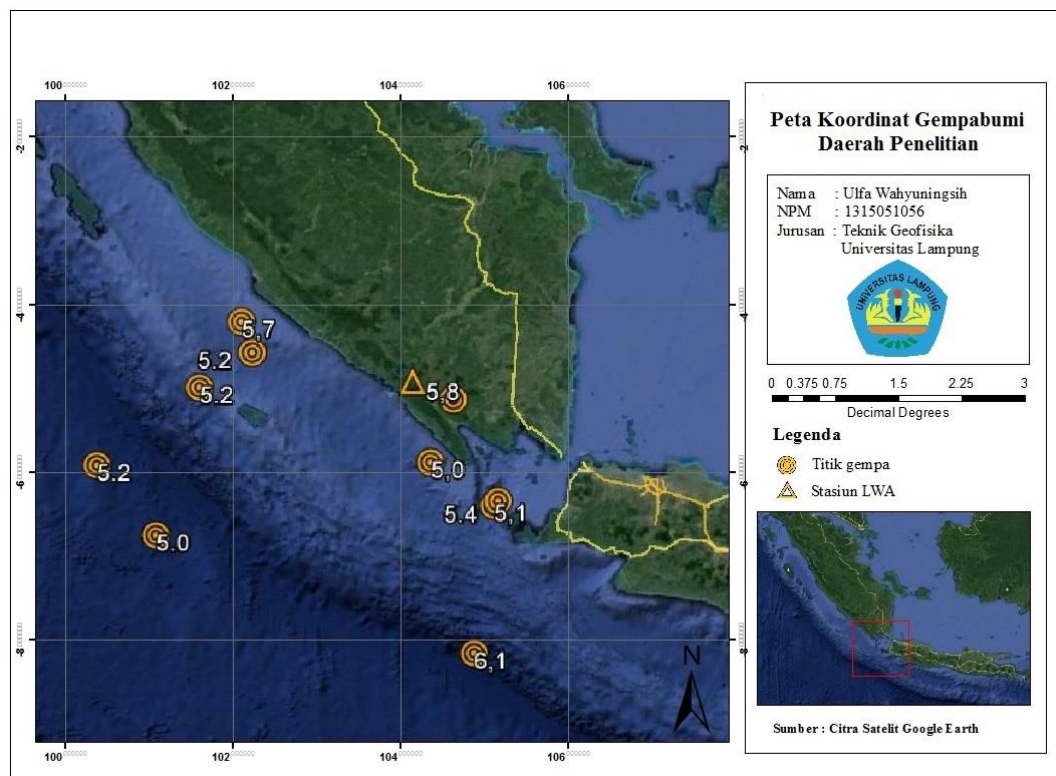
D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan berguna untuk memberikan informasi pendukung berupa indikator prekursor gempa bumi yang dapat digunakan dalam upaya mitigasi bencana sebelum gempa terjadi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Propinsi Lampung pada koordinat $-5,23^{\circ}$ hingga $-5,94^{\circ}$ LS dan $104,26^{\circ}$ hingga $104,52^{\circ}$ BT.



Gambar 1. Peta Koordinat Gempabumi Daerah Penelitian (Citra Satelit google earth, 2017)

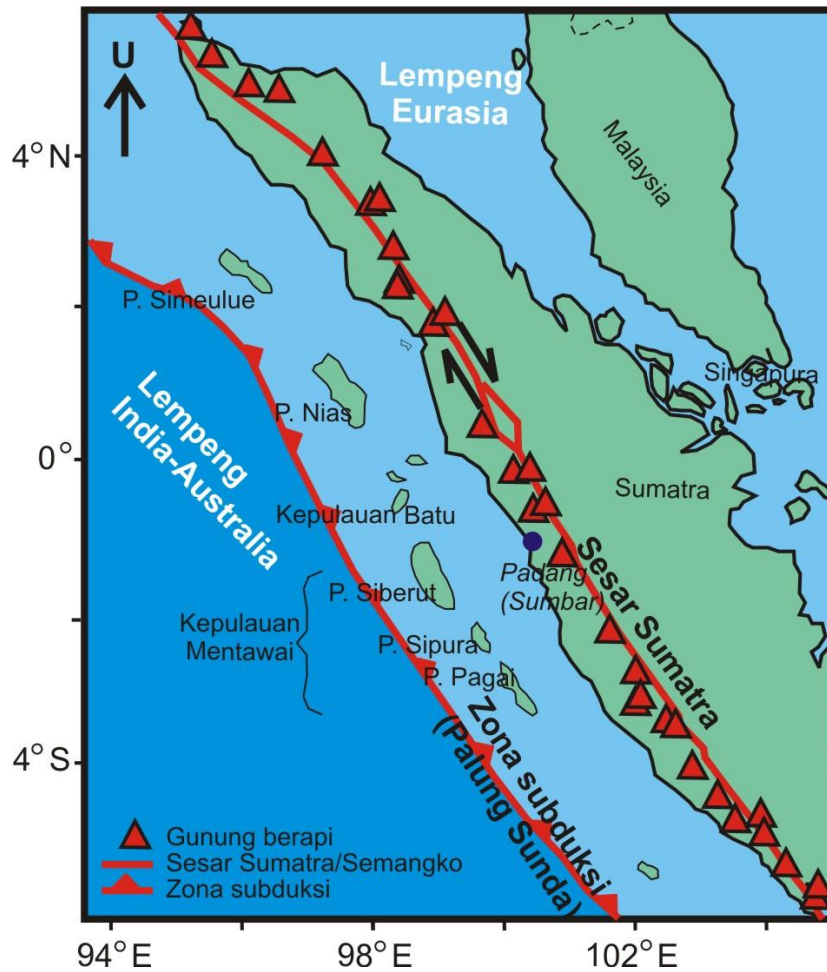
B. Tatanan Tektonik Daerah Penelitian

Penelitian ini mengamati sepuluh titik gempa dengan magnitudo > 5 Mw yang berada di wilayah Lampung pada tahun 2016, dimana titik-titik penelitian yang akan diamati tercatat pada stasiun gempabumi yang berada di Liwa, Lampung Barat. Lampung merupakan salah satu bagian dari Pulau Sumatera yang memiliki potensi gempabumi yang cukup tinggi. Pertemuan dari Lempeng Indo-Australia yang menunjam Lempeng Eurasia merupakan salah satu faktor penyebab wilayah ini seringkali mengalami gempabumi. Lempeng Eurasia yang bergerak relatif ke arah selatan dan Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara mempengaruhi kondisi tektonik Pulau Sumatera. Selain itu pertemuan kedua lempeng tersebut juga menyebabkan terbentuknya deretan gunungapi, Sistem Sesar Sumatera (*Sumatera Fault System*), serta pergerakan tanah di sepanjang sesar dari Aceh hingga Selat Sunda.

Terdapatnya sesar-sesar kecil di wilayah Lampung yang merupakan sesar orde dari sesar utama yang terbentang dari Aceh hingga ke Teluk Semangko menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang rentan terhadap bahaya gempabumi. Pertemuan dari Lempeng Indo-Australia yang menunjam Lempeng Eurasia digambarkan oleh Palung Sunda yang berada disepanjang tepi benua di barat Sumatera.

Pusat-pusat gempa di wilayah ini berkaitan dengan pergerakan Sesar Sumatera di bagian selatan yang lebih lambat dibandingkan dengan bagian utara. Penunjaman ke bawah Sumatera kala Tersier bawah hingga regresi telah menimbulkan busur magma yang luas di Pegunungan Bukit Barisan. Beberapa

peneliti menyatakan bahwa pergerseran Sesar Sumatera telah dimulai sejak zaman Miosen Tengah.



Gambar 2. Tektonik Lempeng Sumatera (Barber dkk, 2005)

Sesar Sumatera merupakan sesar mendatar yang terbentuk akibat pengaruh dari subduksi miring (*oblique*) dimana tegangan antar lempeng dibagi ke dalam sistem *strike-slip* yang paralel di dalam zona busur depan maupun busur belakang. Sesar yang memiliki panjang ± 1900 km ini termasuk kedalam segmen Selat Sunda, dimana patahan ini bergerak kearah kanan (*dextral*). Sesar ini diduga berumur Miosen tengah dan berhubungan dengan pemekaran yang terjadi di Laut Andaman dan juga konsekuensi Paparan Sunda (Sieh & Nathawidjaja, 2000). Sesar ini memiliki pergerakan yang arahnya horizontal pada bidang patahan yang

tegak lurus, dimana bumi bagian barat patahan akan bergeser tiba-tiba kearah utara dan dibagian timur bergeser kearah selatan, yang menyebabkan gempa bumi terjadi. Bidang patahan yang merekat dan terkunci lagi serta terakumulasinya energi *strain* dapat menyebabkan gempa bumi terjadi lagi (Affandi dkk, 2015).

Episenter gempa bumi tektonik dangkal terdapat pada zona-zona tertentu seperti di dasar laut, dimana saat terjadi pemekaran samudera yang disebabkan oleh aktivitas dari sirkulasi magma, serta akibat sesar yang memotong pematang tengah samudera pada zona subduksi. Oleh karena itu, beberapa titik gempa bumi yang diamati dalam penelitian ini terdapat di lautan.

C. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Secara umum beberapa titik pengamatan pada penelitian ini terletak di Laut yang masuk dalam lembar peta geologi Kotaagung, lembar peta geologi Manna dan Enggano serta lembar peta geologi Tanjung Karang.

Titik-titik pengamatan pada penelitian ini terekam pada Stasiun Gempabumi di Liwa, yang termasuk kedalam lembar peta geologi Kotaagung. Morfologi pada lembar Kotaagung sendiri dibagi menjadi lima satuan morfologi berupa dataran rendah sepanjang tepian bagian barat, pegunungan dan perbukitan dibagian barat, tengah dan bagian timur laut, perbukitan bergelombang, dataran tinggi dan kerucut gunungapi. Perbukitan bergelombang hampir mendominasi daerah ini sekitar 70%, yang terdiri dari sedimen tersier, gunungapi kuarter, batuan terobosan dan sedikit batuan malihan. Lembar Kotaagung ini terletak ditepi barat daya daratan Sunda, yang merupakan pengembangan daratan Asia Tenggara dari Lempeng Eurasia dan bagian dari Busur Sunda.

Geologi batuan pada daerah ini didominasi oleh batuan kuarter. Adapun jenis-jenis batuanya adalah sebagai berikut :

- a. Formasi Lampung (Qtl) yang terdiri dari Tuf berbatuapung dan batupasir Tuf.
- b. Komplek Gunung Kasih (Pzg) yang terdiri dari sekis, kuarsit, batu pualam, dan migmatit.
- c. Formasi Menanga (Km) yang terdiri dari serpihan gamping, batu lempung dan batu pasir, dengan sisipan rijang dan batu gamping.
- d. Formasi Aluvium (Qa) yang terdiri dari bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur.
- e. Formasi Gunung Api Quarter (Qv dan Qhvs) yang tersusun atas batuan gunungapi Seminung yang berupa lava andesit basaltis dan breksi lahar dengan sisipan tuf pasiran, batuan gunungapi Kukusan berupa lava andesit, batuan gunungapi Pesagi berupa lava andesit dan breksi lahar dan batuan gunungapi Sekincau berupa breksi lahar. Batuan gunungapi ini berumur Plistosen –Holosen.
- f. Batuan Piroklastik yang tersusun atas Tuf Ranau (Qtr).
- g. Batuan Vulkanik Tersier yang tersusun atas breksi gunungapi Formasi Bal yang berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir dan batuan gunungapi basaltis-andesit Formasi Hulusimpang yang berumur Oligosen – Miosen Awal.

Secara stratigrafi, batuan gunungapi kuarter (Qv dan Qhvs) menindih selaras Tuf Ranau (Qtr) yang tersebar luas di daerah Liwa. Batuan berumur Kuarter dan Tersier di daerah penelitian terpotong oleh Sesar Sumatera (Amin, dkk., 1994).

D. Riwayat Kegempaan Wilayah Lampung

Aktivitas sesar-sesar kecil di Lampung yang merupakan bagian dari Sesar Sumatera seringkali menyebabkan gempabumi terjadi di Wilayah ini. Pergerakan getaran dari gempabumi ini ditafsirkan berada pada zona penunjaman yang berasosiasi dengan zona subdaksi aktif. Pada tanggal 15 Februari 1994, gempabumi dengan magnitudo 6,5 Mw yang mengakibatkan kerusakan parah di Liwa, Lampung Barat dengan episenter yang berada di Sesar Semangko, Samudera Hindia. Berdasarkan informasi, jumlah penduduk yang kehilangan tempat tinggal hampir mencapai 75 ribu dan dampak gempabumi terasa hingga 40 km dari ibukota kabupaten Lampung Barat. Gempabumi di Selat Sundapun telah terjadi pada tanggal 19 Juli 2006 dengan magnitudo 6,0 Mw pada kedalaman 44,2 km dapat dirasakan di wilayah sekitar Teluk Betung (Lampung). Selain itu kejadian gempa lainnya terjadi pada tanggal 30 Desember 2011 dengan magnitudo 5,4 Mw dan kedalaman 18 km yang berada 99 km tenggara Krui, Lampung (Fajriyanto, dkk, 2013).

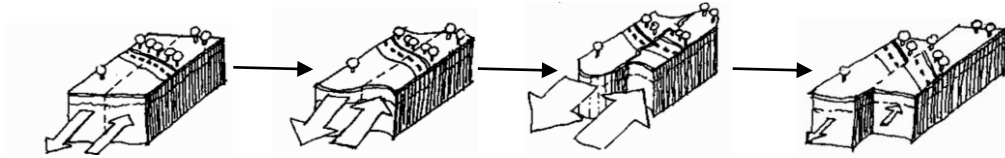
III. TEORI DASAR

A. Teori 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 pada 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 (*precursor*) 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.

Saat energi *stress* tiba-tiba dilepaskan bersamaan dengan terjadinya gempabumi (*mainshock*) maka fase ini disebut fase *coseismic*. Dan fase *postseismic* terjadi mengikuti *mainshock* atau gempa utama (Afnimar, 2009).



Gambar 3. Model Bingkai Elastik (Stein dan Wysession, 2003).

a. Klasifikasi Gempabumi

Gempabumi dapat digolongkan menjadi empat jenis, yaitu :

1. Gempabumi Tektonik

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

2. Gempabumi Vulkanik

Gempabumi vulkanik adalah fenomena gempabumi yang berasal dari gerakan magma karena aktivitas gunungapi.

3. Gempabumi Runtuhan

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

4. Gempabumi Buatan

Gempabumi 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).

Dan gempa bumi yang berkaitan dengan adanya fenomena anomali gelombang elektromagnetik adalah Gempabumi Tektonik.

b. Proses Seismogenesis

Tanda-tanda awal (*precursor*) pada gempa bumi 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 gempa bumi tersebut.

Seismogenesis *mainshock* dimulai dengan pembentukan retakan utama dan dari proses ini lalu dihasilkan serangkaian retakan kecil yang menjadi prekursor gempa bumi. Prekursor gempa bumi sendiri diklasifikasikan menjadi dua fenomena yaitu fenomena seismik dan fenomena nonseismik. Fenomena seismik meliputi kesenyapan seismik (*Seismic gap*), penurunan (*Seismic quiescence*) dan peningkatan aktivitas seismisitas serta perubahan kecepatan gelombang seismik. Sedangkan fenomena nonseismik 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 gempa bumi 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).

c. Area Persiapan Gempabumi

Konsep ini dikembangkan oleh Dobrovolsky, dkk, dalam Subakti, 2012. Secara umum, area persiapan gempabumi ini merupakan lokasi di mana deformasi lokal terhubung dengan sumber gempabumi yang diamati. Deformasi tersebut menggambarkan perubahan sifat kerak, yang dapat diukur dengan teknik yang berbeda. Dalam menentukan ukuran dari area persiapan gempabumi ini, Dobrovolsky memberikan hubungan langsung antara radius zona persiapan dan besarnya gempabumi pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Ukuran area persiapan gempabumi

Magnitudo	3	4	5	6	7	8	9
Radius area persiapan gempabumi ρ (Km)	19,5	52,5	141	380	1022	2754	7413

B. Prekursor Gempabumi Berdasarkan Fenomena Medan EM

Prediksi gempabumi berdasarkan fenomena medan elektromagnetik pertama kali dilakukan dengan menggunakan metode VAN (*Varotos-Alexopoulos-Nomicos*) di Yunani pada tahun 1980. Kemudian penelitian-penelitian lain dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Frasher-Smith, dkk, (1990) yang telah mendapatkan hasil penelitian bahwa terjadinya peningkatan aktivitas gelombang EM berasosiasi dengan gempabumi yang terjadi di Loma Prieta tahun 1989, Kopytenko, dkk, (1993) juga membuktikan adanya peningkatan emisi gelombang EM pada gempabumi di Spitak tahun 1988, begitu pula dengan penelitian yang dilakukan Hayakawa, (1999) pada gempabumi di Guam tahun 1993.

Pada tahun 1990, Frasher-smith dan Hayakawa memperkenalkan teknik berupa polarisasi rasio (Z/H) pada satu stasiun untuk menentukan prekursor gempabumi dan dikoreksi dengan indeks gangguan magnet bumi. Kemudian, Yumoto dkk, (2009) memperkenalkan teknik baru dengan melakukan polarisasi dan komparisasi sinyal pada komponen H dan Z .

Tabel 2. Riwayat Gempabumi yang berhubungan dengan fenomena EM (Hattori, 2004).

Parameter	Gempa Bumi Spitak (Kopytenko, dkk.,1993)	Gempa Bumi Loma Prieta (Fraser Smith, dkk., 1990)	Gempa Bumi Guam (Hayakawa, dkk., 1999)
Waktu terjadinya gempa	8 Desember 1988	18 Oktober 1989	8 Agustus 1993
Magnitudo	6,9	7,1	8,0
Kedalaman	6 Km	15 Km	60 Km
Jarak Epicenter	129 Km	7 Km	65 km
Komponen medan magnet yang digunakan	3 Komponen	Komponen H	3 Komponen
Jangkauan frekuensi ULF	0,0005-5 Hz	0,01-10 Hz	-0,5 Hz
Durasi waktu munculnya anomali ULF sebelum gempa	Intensitas anomali 3 – 4 hari sebelum gempa bumi	Intensitas anomali 12 hari sebelum gempa bumi	Polarisasi (S_Z/S_H) Anomali muncul 1 bulan sebelum gempa bumi
Karakteristik emisi ULF sebelum gempa bumi (<i>Pre-seismic</i>)	Terjadi peningkatan emisi ULF secara tiba-tiba 4 jam sebelum gempa bumi	Terjadi peningkatan emisi ULF secara tiba-tiba 3 jam sebelum gempa bumi	Level maksimum polarisasi S_Z/S_H
Karakteristik emisi ULF setelah terjadi gempa bumi (<i>Postseismic</i>)	Tidak muncul 1 bulan setelah terjadi gempa bumi	Tidak muncul beberapa bulan setelah terjadi gempa bumi	1 bulan setelah gempa bumi, polarisasi kembali ke level normal.

a. Anomali Medan Listrik

Anomali medan listrik adalah fenomena emisi elektromagnetik yang terdeteksi pada saat persiapan gempabumi. Pada ekspedisi yang dilakukan oleh Prof Chernyasvsky di Dzhelal-Abad, Kirgizia, untuk mempelajari listrik atmosfer, Prof Chernyasvsky beserta timnya menemukan aktivitas peralatan yang menunjukkan hal aneh, di mana terdapat badai listrik yang muncul di atmosfer dengan potensial yang sangat tinggi, dan empat jam kemudian terjadi gempabumi. Prof Chernyasvsky menyatakan bahwa “gempabumi tersebut kemungkinan menyebabkan terjadinya anomali medan listrik atmosfer”.

Kemudian, telah dilakukan beberapa penelitian terhadap peningkatan medan listrik. Salah satunya yaitu, penelitian yang dilakukan oleh Hayakawa, (1999), dimana fenomena elektromagnetik diamati pada frekuensi yang berbeda-beda mulai dari *Ultra Low Frequency* hingga *Very High Frequency*, karena kemampuan emisi elektromagnetik ini mampu tertangkap pada jarak yang berbeda-beda dari pusat gempabumi. Walaupun ionosfer biasanya dipengaruhi oleh matahari dan aktivitas magnetosferik, akan tetapi anomali-anomali ionosferik yang dipicu oleh gerakan vertikal dari gelombang seismik juga dapat diamati.

b. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium dalam perambatannya sehingga dapat menjalar di ruang hampa udara. Bumi diasumsikan sebagai sebuah magnet batang besar yang membujur dari utara ke selatan bumi dan magnet bumi yaitu kutub utara dan selatan. Bumi memiliki dua kutub atau yang disebut juga dengan *dipol magnet*

bumi, medan magnet bumi sendiri memiliki beberapa komponen-komponen yang dapat diukur meliputi arah dan intensitas kemagnetannya.

Komponen-komponen tersebut adalah :

1. Deklinasi (D)

Sudut yang berada diantara utara sebenarnya (*true north*) dengan utara magnetik.

2. Inklinasi (I)

Sudut yang berada diantara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah.

3. Intensitas Horizontal (H)

Besar medan magnetik pada bidang horizontal.

4. Intensitas Vertikal (Z)

Besar medan magnet pada bidang vertikal.

5. Intensitas Arah X

Besar medan magnetik yang searah dengan utara sebenarnya.

6. Intensitas Arah Y

Besar medan magnetik yang searah dengan timur sebenarnya.

7. Medan Magnetik Total (F)

Besar dari vektor medan magnetik total.

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

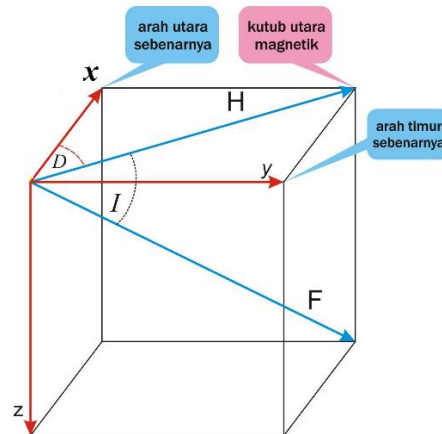
$$H = F \cos I \quad (1)$$

$$X = H \cos D \quad (2)$$

$$Y = H \sin D \quad (3)$$

$$Z = F \sin I \quad (4)$$

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (5)$$



Gambar 4. Komponen-komponen Medan Magnet Bumi (McPherron,1998)

c. Prekursor Elektromagnetik

Saat ini telah banyak penelitian tentang prekursor elektromagnetik yang berasosiasi dengan gempa bumi. Prekursor elektromagnetik ini dilakukan dengan menggunakan frekuensi yang lebar seperti *ULF*, emisi pulsa listrik, *VLf*, *VHF* pada atmosfer dan pengamatan gelombang plasma satelit. Menurut Yumoto, (2006) dari pengamatan-pengamatan yang telah dilakukan, frekuensi *ULF* ($f < 10$ Hz) mampu diyakini sebagai yang paling menjanjikan dari pemantauan keaktifan kerak bumi karena daya tembus dari elektromagnetik ini dapat dipertimbangkan dengan kedalaman di mana aktivitas kerak bumi berlangsung dan fluktuasi konduktivitas elektrik di bagian dalam bumi sehingga dapat dideteksi secara langsung.

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 gempa bumi (Yumoto, 2006).

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, 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.

d. 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 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*.

Untuk mempermudah dalam memahami mekanisme gelombang *ULF* tersebut, Hattori, dkk, (2006) menunjukkan tiga model yang dapat digunakan. Dua model menjelaskan tentang emisi *ULF* yang disebabkan oleh *micro-fracturing* dan elektrokinetik dan satu model menjelaskan tentang perubahan amplitudo gelombang EM yang dapat dilihat dari *Power Ratio* (Z/H) dimana komponen H dan Z sangat berpengaruh terhadap perubahan medan magnet bumi. Apabila terjadi konduktivitas perubahan pada komponen H secara signifikan dan komponen Z kecil maka diyakini berasal dari atmosfer atau ionosfer, sedangkan apabila terjadi konduktivitas komponen Z yang besar dan komponen H kecil maka diyakini sebagai akibat dari aktivitas litosfer.

e. Penentuan Spektrum Emisi ULF untuk Prekursor Gempabumi

Yumoto, dkk., (2009) memperkenalkan teknik polarisasi dan komparisasi sinyal untuk komponen H dan Z dalam penentuan anomali emisi *ULF* untuk prekursor gempabumi, dimana analisa polarisasi rasio dilakukan pada spektrum *Ultra Low Frequency (ULF)*, karena data yang terekam pada alat masih berupa data dengan domain waktu, maka perlu adanya proses yang digunakan untuk mengetahui spektrum dalam domain frekuensi yang dalam hal ini digunakan Transformasi Fourier.

Transformasi Fourier adalah suatu proses yang digunakan untuk mengubah suatu bentuk gelombang (fungsi atau sinyal) menjadi bentuk lain yang dicirikan oleh fungsi sinus dan cosinus. dimana transformasi ini dapat memperlihatkan bahwa sinyal sembarang apapun dapat disusun sebagai penjumlahan dari fungsi-fungsi sinusoida. transformasi ini dapat membantu kita untuk

mengetahui informasi yang terdapat dari fungsi apapun. salah satunya mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekuensi yang di definisikan dengan rumus berikut :

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2\pi ikx} dx \quad (6)$$

Setelah dilakukan Transformasi Fourier atau *FFT*, biasanya frekuensi yang ditampilkan memiliki banyak frekuensi atau gangguan yang tidak diinginkan. Maka dari itu, perlu untuk menghindari *aliasing* (frekuensi diluar jangkauan) dibutuhkan frekuensi *sampling* $2N^2$. Dimana *function sampling* telah dinormalisasi menjadi $\int_{-\infty}^{\infty} \sin c(x) dx = \pi$ dan untuk menormalisasi semua komponen *fourier* maka dibutuhkan frekuensi batas menggunakan *sampling rate* (v) dari instrument yang disebut *frekuensi Nyquist*. Frekuensi ini merupakan frekuensi minimal yang dilakukan agar hasil *sampling* frekuensi tidak menimbulkan efek *aliasing* dimana $FNyquist = \frac{1}{2v}$.

Kemudian dilakukan standarisasi dan normalisasi nilai variasi harian dengan menggunakan persamaan yang telah dirumuskan oleh Prattes, dkk (2011) sebagai berikut :

$$S_{HDAY}(\omega) = \frac{|S_H(\omega)|^2}{2\pi\Delta_f} \quad (7)$$

$$S_{ZDAY}(\omega) = \frac{|S_Z(\omega)|^2}{2\pi\Delta_f} \quad (8)$$

$$S_{\Sigma HDAY}(\omega) = \sqrt{\frac{1}{n} \Sigma [S_H(\omega)]^2} \quad (9)$$

$$S_{\Sigma ZDAY}(\omega) = \sqrt{\frac{1}{n} \Sigma [S_Z(\omega)]^2} \quad (10)$$

$$H_{DAY} = \frac{s_{\Sigma HDAY} - \mu_{\Sigma HMonth}}{\sigma_{\Sigma HMonth}} \quad (11)$$

$$Z_{DAY} = \frac{s\Sigma ZDay - \mu\Sigma ZMonth}{\sigma\Sigma ZMonth} \quad (12)$$

$$P_{day} = \frac{ZDAY}{HDAY} \quad (13)$$

Persamaan (13) merupakan rumus polarisasi rasio yang digunakan untuk mengetahui kualitas nilai variasi harian dari data geomagnet, sehingga nantinya dapat diketahui apakah emisi yang muncul berasal dari aktivitas geomagnet atau dari kesalahan pada instrumen.

C. Indeks *DST* (*Disturbance Strom Time*)

Indeks *Dst* merupakan parameter pendukung yang digunakan dalam mengukur intensitas badai magnetik dan *ring current*. Indeks *Dst* ini telah dihitung oleh WDC-C2 Kyoto, Jepang sejak tahun 1957 menggunakan data dari empat stasiun observasi pada garis lintang-lintang tengah dan lintang khatulistiwa di seluruh dunia.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mursula, dkk, (2008) untuk pertama kalinya secara kuantitatif, terdapat gangguan magnetik di empat stasiun *Dst*. Berdasarkan proyeksi garis lintang terhadap garis khatulistiwa pada komponen horizontal lokal dari medan magnet, indeks *Dst* negatif mencerminkan adanya badai magnetik, di mana ion positif yang dihasilkan selama badai berlangsung, mengarahkan arus listrik kearah barat.

D. *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

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.

Sehingga besarnya arah sumber anomali magnet dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Z(\omega) = A \cdot \Delta X(\omega) + B \cdot \Delta Y(\omega) \quad (14)$$

$$\tan \theta = \left(\frac{B}{A}\right) \quad (15)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{B}{A}\right) \quad (16)$$

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 :

$$d = G m \quad (17)$$

Keterangan :

$$d : \text{Matriks data (nilai } \Delta Z(\omega)) \quad (18)$$

G : Matriks kernel (nilai $\Delta X(\omega)$ dan $\Delta Y(\omega)$) (19)

m : Matriks model ((nilai $A(\omega)$ dan $B(\omega)$) (20)

$$\begin{bmatrix} \Delta Z1 \\ \Delta Z2 \\ \Delta Z3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta Y1 \\ \Delta X2 & \Delta Y2 \\ \Delta Xn & \Delta Yn \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (21)$$

Nilai A dan B dapat dicari dengan rumus : $m = [G^T G]^{-1} G^T d$ (22)

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \left[\begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta X2 & \Delta Xn \\ \Delta Y1 & \Delta Y2 & \Delta Yn \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta Y1 \\ \Delta X2 & \Delta Y2 \\ \Delta Xn & \Delta Yn \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta X1 & \Delta X2 & \Delta Xn \\ \Delta Y1 & \Delta Y2 & \Delta Yn \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z1 \\ \Delta Z2 \\ \Delta Zn \end{bmatrix} \quad (23)$$

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG) Kotabumi, Lampung Utara dan Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung yang dilaksanakan pada tanggal 31 Januari 2017 sampai 01 Agustus 2017, dengan mengambil judul “Analisis Anomali Sinyal *Ultra Low Frequency* Berdasarkan Data Pengukuran Geomagnetik Sebagai Indikator Prekursor Gempabumi Wilayah Lampung Tahun 2016 ”.

B. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Komputer
- b. Software *Matlab 2013*
- c. Software *Ms. Excel 2013*
- d. Software *Google Earth*
- e. Data gempabumi wilayah lampung tahun 2016
- f. Data MAGDAS stasiun Liwa.

C. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah pengolahan data MAGDAS pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengumpulan data gempabumi tahun 2016 dan data MAGDAS stasiun LWA.
2. Melakukan analisis *trend* harian untuk mengurangi pengaruh akibat aktivitas geomagnet global seperti aktivitas Litosfer, Atmosfer, Ionosfer, serta *Solar Wind*. Dimana pada tahap ini juga dilakukan konversi *raw* data (dalam ekstensi *mgd*) menjadi data *binner* (dalam ekstensi *gea*), hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam pembacaan data dari sensor. Data yang digunakan adalah komponen horizontal (H) dan vertikal (Z) per detik dan dipilih data perhari.
3. Melakukan transformasi fourier atau *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah data dari domain waktu ke domain frekuensi. FFT dihitung menggunakan rumus :

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2\pi ikx} dx$$

4. Melakukan normalisasi nilai komponen fourier dengan menggunakan frekuensi Nyquist dengan *sampling rate* pada frekuensi 1 Hz. *Sampling* adalah proses yang digunakan untuk mencuplik selang waktu tertentu. Rumus yang digunakan untuk menghitung Frekuensi Nyquist adalah

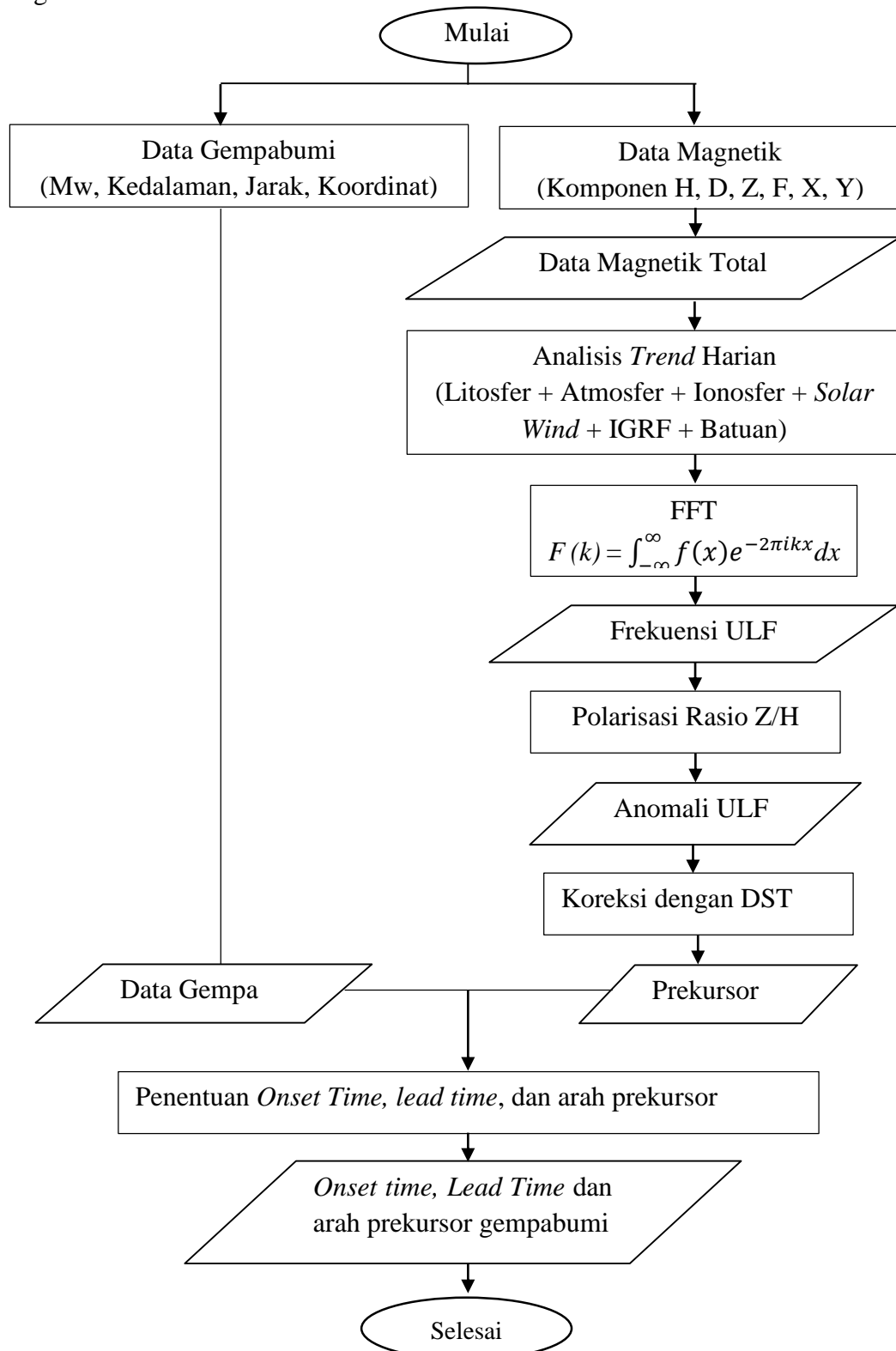
$$FNyquist = \frac{1}{2v}$$

5. Melakukan Polarisasi Rasio Z/H. Dimana indikator anomali gelombang EM ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai rasio komponen vertikal dengan horizontal (Z/H) yang melewati batas standar deviasi yang telah dibuat.
6. Melakukan koreksi anomali yang muncul dengan Indeks *Dst*. Indeks *Dst* ini digunakan untuk mengetahui suatu aktivitas badai magnet, karena apabila terjadi badai magnet maka anomali yang muncul dianggap sebagai *noise* sehingga tidak dapat dilakukan analisis anomali *ULF* sebagai prekursor.

Apabila saat anomali muncul di hari tenang maka analisis dapat dilanjutkan dengan menentukan waktu mula (*onset time*) dan selang waktu (*lead time*) serta arah pola prekursor gempa.

D. Diagram Alir

Prosedur penelitian dalam subbab C secara garis besar dapat diilustrasikan dengan **Gambar 5**.



Gambar 5. Diagram Alir

E. Jadwal Penelitian

Adapun jadwal penelitian yang akan dilakukan terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jadwal penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		Maret 2017	April 2017	Mei 2017	Juni 2017	Juli 2017	Agustus 2017
1	Studi Literatur						
2	Pengambilan Data						
4	Penyusunan Proposal						
5	Seminar Proposal						
3	Pengolahan Data						
6	Interpretasi Data						
7	Seminar Hasil						
8	Penyelesaian Skripsi						
9	Sidang Akhir Skripsi						

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dari analisis anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) diketahui bahwa parameter anomali sinyal ULF dikatakan sebagai indikator prekursor adalah anomali yang diindikasikan sebagai prekursor adalah anomali ULF yang melebihi batas standar deviasi dan memiliki azimuth ke arah episenter gempa bumi.
2. Waktu mula (*Onset time*) peningkatan sinyal ULF sebelum gempa bumi diketahui dengan melihat nilai anomali yang melebihi standar deviasi, , dimana waktu munculnya anomali tersebut adalah waktu tiba (*onset time*) prekursor gempa bumi dan durasi waktunya hingga saat terjadinya gempa adalah *lead time*.

Berdasarkan sepuluh gempa bumi yang telah diamati, sembilan diantaranya memiliki prekursor dari anomali sinyal ULF. Berikut merupakan hasil analisis anomali sinyal ULF yang berkaitan dengan gempa bumi yang terjadi pada tahun 2016 dengan $M_w > 5$:

- a. Gempa bumi tanggal 29 Maret 2016 dengan M_w 5,3 memiliki *onset time* pada tanggal 3 Februari 2016 dan *lead time* selama 28 hari.

- b. Gempabumi tanggal 10 April 2016 dengan Mw 5,7 memiliki *onset time* pada tanggal 26 Maret 2016 dan *lead time* selama 15 hari.
 - c. Gempabumi tanggal 2 Mei 2016 dengan Mw 5,8 memiliki *onset time* pada tanggal 20 April 2016 dan *lead time* selama 21 hari.
 - d. Gempabumi tanggal 18 Juni 2016 dengan Mw 5,2 memiliki *onset time* pada tanggal 17 Mei 2016 dan *lead time* selama 30 hari.
 - e. Gempabumi tanggal 11 Juli 2016 dengan Mw 5,2 memiliki *onset time* pada tanggal 24 Juni 2016 dan *lead time* selama 25 hari.
 - f. Gempabumi tanggal 23 Juli 2016 dengan Mw 5,0 memiliki *onset time* pada tanggal 6 Juli 2016 dan *lead time* selama 17 hari.
 - g. Gempabumi tanggal 5 Agustus 2016 dengan Mw 5,2 memiliki *onset time* pada tanggal 16 Juli 2016 dan *lead time* selama 20 hari.
 - h. Gempabumi tanggal 7 Agustus 2016 dengan Mw 5,0 memiliki *onset time* pada tanggal 27 Juli 2016 dan *lead time* selama 11 hari.
 - i. Gempabumi tanggal 12 Agustus 2016 dengan Mw 5,4 memiliki *onset time* pada tanggal 21 Juli 2016 dan *lead time* selama 22 hari.
 - j. Gempabumi tanggal 7 November 2016 tidak memiliki prekursor dikarenakan jaraknya yang terlalu jauh dari stasiun pengukuran.
3. Selain untuk mengetahui anomali sinyal ULF, data magnetik dari instrumen MAGDAS juga dapat digunakan untuk mengetahui azimuth atau arah anomali yang mengarah ke episenter gempabumi yang jaraknya dekat dengan stasiun MAGDAS. Berdasarkan hasil penelitian dari data MAGDAS tahun 2016 terhadap Gempabumi wilayah Lampung tahun 2016, hanya ada satu dari sepuluh titik gempa yang tidak memiliki prekursor, yaitu

gempa pada tanggal 7 November 2016, meskipun magnitudo gempa tersebut cukup besar namun jaraknya yang jauh menyebabkan tidak adanya prekursor yang mengarah pada gempa tersebut sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak dan besarnya magnitudo juga mempengaruhi anomali sinyal ULF.

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

- Affandi, A.K., Idarwati. dan Hastuti, E.W.D., 2015, *Penentuan Kawasan Rawan Gempabumi Untuk Mitigasi Bencana Geologi Di Wilayah Sumatera Bagian Selatan*, UNSRI.
- Afnimar., 2009, *Seismologi*, Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Ahadi, S., Puspito, N.T., Saroso, S., Ibrahim, G., Siswoyo. dan Suhariyadi., 2013, Prekursor Gempa Bumi Padang 2009 Berbasis Hasil Analisis Polarisasi Power Rasio Dan Fungsi Transfer Stasiun Tunggal, *Jurnal Ilmiah Geomatika*, Vol. 19 No. 1 Agustus 2013 : 49 – 56.
- Amin, T.C., Sidarto., Santosa, S. dan Gunawan., 1994, *Peta Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Badan Geologi, Kementrian ESDM.
- Barber, A.J., Crow, M.J. dan Milsom, J.S., 2005, Sumatera: Geology, Resources and Tectonic Evolution, *The Geological Society*. London.
- Fajriyanto., Suyadi., Dewi, C. dan Meilano, I., 2013, Estimasi Laju Geser Dan Pembuatan Model Deformasi Di Selat Sunda Dengan Menggunakan GPS Kontinyu, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi V*, Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- 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.
- Frasher-Smith, A.C., Bernardi, A., McGill, P.R., Ladd, M.E., Helliwell, R.A., dan Villard, G. Jr., 1990, Low-Frequency Magnetic Field Measurements Near The Epicenter Of The Ms. 7.1 Loma Prieta Earthquake, *Journal Geophysical Research Letter*, Vol. 17, No. 9, 1465-1468.

- 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., Isezaki, N., 2006, Singular spectral analysis and principal component analysis for signal discrimination of ULF geomagnetic data associated with 2000 Izu Island Earthquake Swarm, *Proceeding Phys.Chem. Earth 31*, 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. dan Subarjo., 2005, *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Kopytenko, Y.A., Matishvili, T.G., Voronov, P.M. dan Mochanov, O.A., 1993, Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories, *Proceeding Phys. Earth Planet.Inter*, 77, 85-95.
- Kovtun, A.A., 1980, *Using of Natural Electromagnetic Field of the Earth under Studying of Earth's Electroconductivity*, Leningrad University.
- McPherron, L.R., 1998, *Definition, Calculation, And Properties Of The Dst Index*, Colorado.
- 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.* 105, 201-210.
- Mulyono, A., Ariwibowo, S. dan Iqbal, P., 2014, *Ilmu Kebumihan untuk Perlindungan Wilayah*, LIPI.
- Mursula, K., Holappa, L., dan Karinen, A., 2008. *Correct normalization of the Dst Index*. Finland.
- Prattes, G., Schwingenschuh, K., Eichelberger, H.U., Magnes, W., Boudjada, M., Stachel, M., Vellante, M., Villante, U., Wesztergom, V. dan Nenovski, P., 2011, Ultra Low Frequency (ULF) European multi station magnetic field

analysis before and during the 2009 earthquake at L`Aquila regarding regional geotechnical information, *National Hazard Earth System Sciences*, 11, 1959-1968.

Sieh, K. dan Natawidjaja, D., 2000, Neotectonics of Sumatra Fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, 28,295-28,326.

Stein, S. dan Wysession., 2003, *An Introduction to Seismology, earthquakes, and earth structure*, UK.

Subakti, H., 2012, *Modul Prediksi Gempabumi*, Jakarta : Akademi Meteorologi Dan Geofisika.

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., McNamara, D., Otadoy, R.E., Yumul, G., Ebor, R. dan Servando, N., 2009, A new ULF wave analysis for Seismo-Electromagnetic using CPMN/MAGDAS data, *Proceeding Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 360-366.