

**IDENTIFIKASI ANOMALI SINYAL ULF (*ULTRA LOW FREQUENCY*)
SEBAGAI PREKURSOR GEMPA BUMI YANG BERSIFAT MERUSAK
DI WILAYAH SELATAN JAWA TIMUR**

SKRIPSI

**Oleh:
NADILA
NIM. 210604110026**



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**IDENTIFIKASI ANOMALI SINYAL ULF (*ULTRA LOW FREQUENCY*)
SEBAGAI PREKURSOR GEMPA BUMI YANG BERSIFAT MERUSAK
DI WILAYAH SELATAN JAWA TIMUR**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam Memperoleh
Gelara Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
NADILA
NIM. 210604110026**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

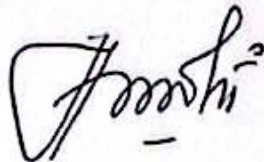
IDENTIFIKASI ANOMALI SINYAL ULF (*ULTRA LOW FREQUENCY*)
SEBAGAI PREKURSOR GEMPA BUMI YANG BERSIFAT MERUSAK
DI WILAYAH SELATAN JAWA TIMUR

SKRIPSI

Oleh:
NADILA
NIM. 210604110026

Telah Diperiksa dan Disetujui
Pada tanggal, 29 September 2025

Pembimbing I



Ahmad Lutfin, M.Si
NIP. 19860504 2019 031 009

Pembimbing II



Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 2003 121 004

Mengetahui
Ketua Program Studi




Firdaus Hananto, M.T.
NIP. 19740513 2003 121 001

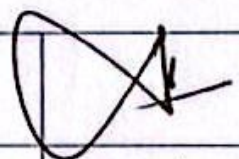
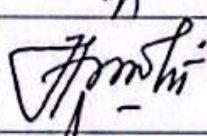
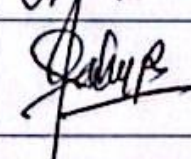
HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI ANOMALI SINYAL ULF (*ULTRA LOW FREQUENCY*)
SEBAGAI PREKURSOR GEMPA BUMI YANG BERSIFAT MERUSAK
DI WILAYAH SELATAN JAWA TIMUR

SKRIPSI

Oleh:
NADILA
NIM. 210604110026

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 12 September 2025

Penguji Utama :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 1990 031 003	
Ketua Penguji :	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIP. 19870215 2023 212 031	
Sekretaris Penguji :	<u>Ahmad Lutfin, M.Si</u> NIP. 19860504 2019 031 009	
Anggota Penguji :	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 2003 121 004	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samudra Hananto, M.T.
NIP. 19940513 2003 121 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nadila
NIM : 210604110026
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Identifikasi Anomali Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) Sebagai Prekursor Gempabumi yang Bersifat Merusak di Wilayah Selatan Jawa Timur

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan di sebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atau perbuatan tersebut.

Malang, 08 Oktober 2025
Yang membuat pernyataan



Nadila
NIM.210604110026

MOTTO

وَإِنْ تَعُدُّوا نِعْمَةَ اللَّهِ لَا تُحْصُوهَا إِنَّ اللَّهَ لَغَفُورٌ رَحِيمٌ ﴿١٨﴾

(Qs. An-Nahl;18)

Artinya: “Dan jika kamu menghitung nikmat Allah SWT, niscaya kamu tidak akan mampu menghitungnya. Sungguh Allah SWT benar-benar Maha Pengampun, Maha Penyayang.”

It's never too late to start over

If yesterday didn't make you happy

Try something different today

Don't stay stuck, do better

If you don't know what to pursue in your life, pursue yourself, be the best version that you can show to the world, be the happiest, be trustworthy, because the best life is to be better:)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkan ku tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkan ku”

(Umar Bin Khattab)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segenap rasa syukur yang tak terhingga kepada Allah SWT. Melewati perjalanan yang penuh perjuangan, pelajaran serta do'a yang selalu di panjatkan tiada henti, akhirnya skripsi ini dapat penulis selesaikan, izinkan penulis mempersembahkan skripsi ini untuk:

1. Teruntuk lentera hidupku, Ayah Basori, Ibu Yuni Muntamah yang memberanikan diri untuk melepas anaknya jauh merantau hingga lulus sarjana, dengan tekad yang kuat dan tidak patah semangat demi memberikan kehidupan yang layak untuk putri pertamanya, teruntuk saudaraku Agung Priambodo M.Ag, Shofian Otavia, Bunga Arumdhani, serta saudara dari ayah dan ibu yang selalu memberi do'a dan dukungan, baik riil maupun materiil selama proses penelitian hingga skripsi selesai, semoga Allah SWT meridhoi langkah penulis untuk mengangkat derajat beliau.
2. Teruntuk teman seperjuanganku sekaligus calon pendamping hidup yang sedang berjuang bersama dan inshaAllah sudah disiapkan Allah SWT, terima kasih banyak selalu memberikan dukungan, do'a, motivasi, pengertian serta semangat kepada penulis yang berusaha selalu ada dalam kondisi apapun.
3. Teruntuk teman seperjuanganku peminatan geofisika yang selalu sabar dalam bertukar ilmu, teruntuk teman seperjuanganku KKN Desa Kedok Turen, teman seperjuanganku kakak Liana Wafiq Nabillatunnadya, Febyana Destin Tristanti, Farah Hidayah Prinasari, Alifia Nisrina, Mareta Helmalia dan Putri Mauliya, teruntuk pengasuh pesantren Daruzzahra Arrifa'i yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan, penelitian dan menjadi rumah kedua untuk penulis.

4. Teruntuk Dosen Pembimbing kampus dan instansi, Dosen Penguji yang membantu penulis selama penelitian, terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan.
5. Teruntuk orang spesial yang selalu bertanya kapan kamu wisuda?, wisuda hanyalah bentuk seremonial akhir setelah melewati berbagai proses, terlambat lulus atau tidak lulus tepat waktu bukanlah sebuah kejahatan atau aib. Alangkah kerdilnya jika kecerdasan seseorang diukur dari cepatnya wisuda, bukankah sebaik-baiknya skripsi adalah skripsi yang mampu diselesaikan entah tepat waktu ataupun tidak.
6. *Last but not least, to myself, Nadila.* Terima kasih yang tulus untuk setiap langkah yang sudah dijalani hingga sampai pada titik ini. Perjalanan ini bukanlah sesuatu yang mudah, penuh dengan *ups and downs*, tetapi keberanian untuk tetap bertahan dan menyelesaikan apa yang telah dimulai adalah sebuah pencapaian yang patut dirayakan. *Thank you for giving yourself time, effort, and strength, even when things felt overwhelming.* Keputusan untuk terus maju, walaupun penuh tantangan, adalah bukti bahwa proses dan ketekunan selalu membawa hasil. *This part of the journey is not the end, but rather a milestone to the next chapter.* Mari melanjutkan perjalanan berikutnya dengan hati yang lebih kuat, sembari terus belajar dari setiap pengalaman yang ada. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan perlindungan, kelapangan hati, serta rencana terbaik-Nya di setiap langkah. *Remember, Nadila, this achievement is not only about finishing a thesis, but also about proving to yourself that perseverance, faith, and dedication will always find a way to succeed.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'aalamiin, segala puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya serta nikmat berupa kekuatan, kesehatan, ketekunan, kesabaran dan kemudahan. Dan selalu memudahkan segala kesulitan, memberikan kelancaran sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Identifikasi Anomali Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) Sebagai Prekursor Gempabumi yang Bersifat Merusak di Wilayah Selatan Jawa Timur”.

Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah Salallahu'Alaihi Wasallam. Semoga dengan limpahan berkahnya kita semua mendapatkan syafaatnya di Yaumuljaza nanti.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh Gelar Sarjana (S.Si). Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Farid Samsu Hananto, M.T. selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ahmad Luthfin, M.Si selaku Pembimbing skripsi yang senantiasa membimbing, memberikan support serta ilmu pengetahuan dan mengarahkan penulis.

5. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Program Studi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang membantu selama kegiatan belajar penulis dan memberikan ilmu pengetahuannya.
6. Teman - teman di Program Studi Fisika yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan, penelitian dan menjadi rumah kedua untuk penulis.
7. Ayah, Ibu, kakak serta keluarga di rumah yang selalu memberi doa dan dukungan, baik riil maupun materiil selama proses penelitian.
8. Teman-teman angkatan 2021, khususnya Geofisika yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat serta menambah khazanah keilmuan dalam bidang fisika, khususnya dalam memahami fenomena alam dan penerapannya bagi kehidupan, semoga tulisan ini menjadi kontribusi kecil dalam pengembangan ilmu pengetahuan yang berkelanjutan serta mendorong lahirnya pemikiran baru untuk kebaikan masyarakat dan lingkungan. Amin Yarobbal ‘Alamin.

Malang, 26 September 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 8
2.1 Pentingnya Mengetahui Prekursor Gempa	8
2.2 Tatanan Tektonik Wilayah Jawa Timur	9
2.3 Gempa Bumi	11
2.3.1 Klasifikasi dan Parameter Gempa	12
2.3.2 Tanda-tanda Sebelum Terjadi Gempa	15
2.4 Prekursor Gempabumi Berdasarkan Geomagnetik	16
2.5 Metode Geomagnetik.....	17
2.5.1 Medan Geomagnetik.....	19
2.6 Sinyal ULF (Ultra Low Frequency)	22
2.6.1 Sumber dan Jenis Sinyal ULF (<i>Ultra Low Frequency</i>)	23
2.6.2 Hubungan Antara Aktivitas Seismik dan Anomali Sinyal ULF (<i>Ultra Low Frequency</i>)	24
2.6.3 Deteksi Prekursor Menggunakan Anomali Sinyal ULF (Ultra Low Frequency).....	25
2.6.4 Metode SSTF (Single Station Transfer Function).....	29
2.6.5 Bandpass Filter	30
2.6.6 Indeks Dst (Disturbance Strom Time).....	30
 BAB III METODE PENELITIAN	 32
3.1 Wilayah Penelitian.....	32
3.2 Model Penelitian.....	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	33
3.4 Prosedur Pengolahan Data	34
3.4.1 Pensortiran Data.....	34

3.4.2 Konversi Data	34
3.4.3 Koreksi Data	34
3.4.4 Polarisasi Rasio Z/H	35
3.4.5 Identifikasi Anomali Sinyal ULF (<i>Ultra Low Frequency</i>) Sebagai Tanda Awal Gempabumi	35
3.4.6 Menentukan Arah Azimuth	35
3.4.7 Menghubungkan Parameter dengan Nilai Hasil Polarisasi	36
3.5 Validasi Hasil.....	36
3.6 Diagram Alir Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Analisis Anomali Prekursor Pada Event Gempa	40
4.2 Pembahasan dari Analisis Pola Anomali Prekursor Gempa.....	46
BAB V PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Elemen Tektonik dalam Pertemuan Lempeng Berupa Zona Subduksi.....	11
Gambar 2.2 Komponen Kemagnetan Bumi.	21
Gambar 2.3 Indeks Dst	31
Gambar 3.1 Peta Lokasi Sensor Penelitian dan Wilayah Penelitian	32
Gambar 3.2 Tahapan Penelitian.....	37
Gambar 4.1 Hasil Grafik Polarisasi Z/H Deteksi Prekursor (a) Bulan April 2021, (b) Bulan Desember 2022, (c) Bulan Juni 2023, (d) Bulan Maret 2024.....	42
Gambar 4.2 Hasil Pemetaan Azimuth Sumber Anomali Sinyal ULF Stasiun Tretes (a) Prekursor Gempa April 2021, (b) Prekursor Gempa Desember 2022, (c) Prekursor Gempa Juni 2023 (d) Prekursor Gempa Maret 2024.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel koordinat sensor magnet yang di gunakan dalam penelitian	33
Tabel 4.1	Kriteria untuk Analisis Anomali Prekursor Gempa (M. Syirojudin, BMKG 2021).....	39
Tabel 4.2	Rekaman Data Pola Anomali Prekursor Gempa Tretes Pasuruan	40
Tabel 4.3	Tabulasi Sinyal Anomali Efektif untuk Prekursor Gempa 2021-2025	46
Tabel 4.4	Hasil Analisis Anomali Sinyal ULF (Ultra Low Frequency) Sebagai Prekursor Gempa Stasiun Tretes	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil dan Pengolahan Data Geomagnetik	57
Lampiran 2 Data Laporan Monitoring Prekursor Sensor Tretes.....	62

ABSTRAK

Nadila, Nadila. 2025. **Identifikasi Anomali Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) Sebagai Prekursor Gempabumi yang Bersifat Merusak di Wilayah Selatan Jawa Timur**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Luthfin, M. Si (II) Ahmad Abtokhi M. Pd.

Kunci: Medan Geomagnetik, Prekursor, Gempabumi, Sinyal ULF, Pola Anomali

Wilayah Selatan Jawa Timur memiliki tatanan tektonik yang rawan bencana gempa karena berada pada zona konvergen antara Lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah Lempeng Eurasia. Pertemuan antar lempeng ini menyebabkan kawasan tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebagai prekursor gempa di wilayah selatan Jawa Timur. Pada masa pra-seismik, akumulasi tegangan pada batuan litosfer menimbulkan emisi sinyal elektromagnetik dalam rentang ULF (*Ultra Low Frequency*) yang menjalar di bawah permukaan bumi dan terekam oleh sensor magnet. Data penelitian diperoleh dari jaringan monitoring prekursor gempa BMKG Stasiun Tretes Pasuruan yang diolah dengan metode polarisasi Z/H untuk event gempa $>5,5$ SR dengan kedalaman 0–100 km pada periode 2021–2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola anomali sinyal ULF yang terdeteksi memenuhi kriteria prekursor, yaitu muncul <30 hari sebelum peristiwa gempa, memiliki arah azimuth konsisten dengan toleransi $\pm 22,5^\circ$, serta amplitudo rasio Z/H <20 . Sebanyak lima gempa berhasil teridentifikasi dengan selisih azimuth $<13^\circ$ yang mengarah ke zona aktif episenter di sekitar wilayah penelitian, selain itu, anomali prekursor dipastikan valid ketika amplitudo gelombang mencapai nilai >2 dan melampaui batas standar deviasi normal pada bulan terjadinya gempa, sebagaimana terekam oleh magnetometer Stasiun Tretes, dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat digunakan sebagai indikasi awal peristiwa gempa.

ABSTRACT

Nadila, Nadila. 2025. **Identification of ULF (Ultra Low Frequency) Signal Anomalies as Precursors of Destructive Earthquakes in the Southern Region of East Java**. Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisors: (I) Ahmad Luthfin, M. Si (II) Ahmad Abtokhi M. Pd.

Keywords: Geomagnetic Field, Precursors, Earthquakes, ULF Signals, Anomaly Patterns

The southern region of East Java has a tectonic structure that is prone to earthquakes because it is located in a convergent zone between the Indo-Australian Plate, which subducts beneath the Eurasian Plate. The meeting of these plates causes the region to have high seismic activity. This study aims to analyze the pattern of ULF (Ultra Low Frequency) signal anomalies as earthquake precursors in the southern region of East Java. During the pre-seismic period, the accumulation of stress in the lithosphere rocks causes the emission of electromagnetic signals in the ULF (Ultra Low Frequency) range, which propagate beneath the earth's surface and are recorded by magnetic sensors. The research data was obtained from the BMKG Tretes Pasuruan Station earthquake precursor monitoring network, which was processed using the Z/H polarization method for earthquake events >5.5 SR with a depth of 0–100 km in the period 2021–2025. The results show that the detected ULF signal anomaly patterns meet the precursor criteria, namely appearing <30 days before the earthquake event, having a consistent azimuth direction with a tolerance of $\pm 22.5^\circ$, and a Z/H ratio amplitude <20 . A total of five earthquakes were successfully identified with an azimuth difference of $<13^\circ$ pointing to the active epicenter zone around the study area. In addition, the precursor anomaly was confirmed to be valid when the wave amplitude reached a value of >2 and exceeded the normal standard deviation limit in the month of the earthquake, as recorded by the Tretes Station magnetometer, thus, the results of this study reinforce the evidence that ULF (Ultra Low Frequency) signals can be used as early indicators of earthquake events.

مستخلص البحث

نادلة، نادلة. 2025. تحديد شذوذ إشارة تردد متطرف الانخفاض (ULF) كعلامة مسبقة للزلازل المدمرة في منطقة جنوب جاوى الشرقية. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: أحمد لطف، الماجستير؛ المشرف الثاني: أحمد أبطحي، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: مغناطيسية أرضية، علامة مسبقة، زلازل، إشارة ULF ، نمط شذوذ.

تتمتع منطقة جنوب جاوى الشرقية بترتيب تكتوني عرضة للزلازل، حيث تقع على نشاط تداخل الصفائح الهندوأسترالية التي تتداخل تحت صفيحة يوراسيا. إن التقاء هذه الصفائح هو ما يجعل هذه المنطقة تتمتع بنشاط زلزالي مرتفع. هدف هذا البحث إلى تحليل نمط شذوذ إشارة تردد متطرف الانخفاض (ULF) كعلامة مسبقة للزلازل، خاصة في منطقة جنوب جاوى الشرقية. في الفترة ما قبل الزلازل، يحدث تراكم للضغط في صخور القشرة الأرضية مما يؤدي إلى انبعاث إشارات موجات كهرومغناطيسية ضمن نطاق تردد متطرف الانخفاض (ULF) التي تنتشر أسفل سطح الأرض والتي تم تسجيلها بواسطة المستشعرات المغناطيسية. البيانات المستخدمة في هذه الدراسة هي بيانات شبكة مراقبة مؤشرات الزلازل الخاصة بوكالة الأرصاد الجوية وعلم المناخ والجيوفيزياء (BMKG) في محطة ترييس باسوروان، والتي تم معالجتها باستخدام طريقة استقطاب Z/H لوقائع الزلازل التي تزيد عن 5.5 درجات على مقياس ريختر وعمق يتراوح بين 0-100 كم خلال الفترة من 2021 إلى 2025 في منطقة جنوب جاوى الشرقية. أشارت أنماط إشارة تردد متطرف الانخفاض (ULF) غير الطبيعية التي تظهر إلى احتمال حدوث زلازل، حيث أظهرت نمطاً متكرراً في اتجاه الشمال والجنوب وسجلت بواسطة محطة ترييس، كما أنها أشارا إلى منطقة مصدر الزلازل. أوضح النمط أن ظهور الأنماط غير الطبيعية سجل عدة أيام قبل حدث الزلازل، وهذا قد يكون ناتجاً عن تأثير الحقل المغناطيسي المحلي من محطة التسجيل. أظهرت نتائج البحث وجود إشارة غير طبيعية لإشارة تردد متطرف الانخفاض (ULF) كعلامة مسبقة للزلازل.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Al-Qur'an dan ilmu pengetahuan saling berkaitan erat dalam menjelaskan fenomena alam, termasuk peristiwa gempa. Sains memandang gempa sebagai akibat pelepasan energi yang dihasilkan dari pergerakan lempeng tektonik di kerak bumi yang memicu guncangan di permukaan. Penjelasannya sejalan dengan keterangan dalam Al-Qur'an yang menyebutkan gempa sebagai salah satu tanda kekuasaan Allah SWT sekaligus peringatan bagi manusia agar selalu ingat dan taat kepada-Nya. Oleh karena itu, pemahaman mengenai gempa tidak hanya dapat ditinjau dari sisi ilmiah, tetapi juga dari sisi spiritual, sehingga memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai hakikat peristiwa tersebut..

Allah SWT berfirman dalam Surah Al-Zalzalah (QS. 99:1-8):

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ۖ وَأُخْرِجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا ۖ وَقَالَ الْإِنْسَانُ مَا لَهَا ۚ يَوْمَئِذٍ تُخْبِتُ أَخْبَارَهَا ۚ إِنَّ رَبَّكَ أَوْحَىٰ لَهَا ۚ يَوْمَئِذٍ تُخْبِتُ أَخْبَارَهَا بِأَنَّ رَبَّكَ أَوْحَىٰ ۚ لَهَا يَوْمَئِذٍ مِثْقَالُ ذَرَّةٍ خَيْرًا يَرَهُ ۚ وَمَنْ يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ شَرًّا يَرَهُ ۚ

Artinya: “Apabila bumi digoncangkan dengan goncangan (yang dahsyat). Dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat (yang dikandung)nya. Dan manusia bertanya: “Mengapa bumi (menjadi begini)?” Pada hari itu bumi menceritakan beritanya, karena sesungguhnya Tuhanmu telah memerintahkan (yang sedemikian itu) kepadanya. Pada hari itu manusia ke luar dari kuburnya dalam keadaan bermacam-macam, supaya diperlihatkan kepada mereka (balasan) pekerjaan mereka. Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan seberat dzarrahpun, niscaya dia akan melihat (balasan)nya. Dan barangsiapa yang mengerjakan kejahatan sebesar dzarrahpun, niscaya dia akan melihat (balasan)nya pula.”

Ayat Al-Qur'an tersebut menegaskan betapa dahsyatnya kekuatan alam ketika bumi berguncang pada hari kiamat dan manusia mempertanggungjawabkan

amal perbuatannya, pesan ini tidak hanya mengingatkan tentang akhir zaman, tetapi juga menekankan pentingnya memahami dinamika bumi sebagai tempat hidup. Gempa merupakan salah satu wujud kekuatan alam yang terjadi secara tiba-tiba dan berpotensi menimbulkan kerusakan besar, oleh sebab itu, masyarakat perlu menyadari risiko bencana, terutama di wilayah rawan gempa, serta meningkatkan kesiapsiagaan melalui pengetahuan dan langkah-langkah pencegahan.

Dalam Surah Al-Hajj (QS. 22:1), Allah SWT mengingatkan umat-Nya untuk tetap waspada dan menjaga keselamatan di saat-saat genting.

يَا أَيُّهَا النَّاسُ اتَّقُوا رَبَّكُمُ إِنَّ زَلْزَلَةَ السَّاعَةِ شَيْءٌ عَظِيمٌ ﴿١﴾

Artinya: *“Wahai manusia, bertakwalah kepada Tuhanmu. Sesungguhnya guncangan hari Kiamat itu adalah sesuatu yang sangat besar.”*

Pesan yang terdapat dalam ayat tersebut relevan dengan fenomena gempa, yang tidak dapat diprediksi dan dapat terjadi kapan saja. Di Indonesia, khususnya di wilayah selatan Jawa Timur, risiko gempa sangat tinggi akibat posisi geografis yang berada di jalur lempeng aktif, semuanya merupakan peringatan dari Allah SWT bahwasanya seluruh umat manusia yang ada di dunia harus menggugah kesadaran akan akhirat, karena azab dari Allah SWT sungguh nyata adanya.

Indonesia merupakan Negara yang terletak di Cincin Api Pasifik, memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi, menjadikannya rentan terhadap gempa, khususnya wilayah selatan Jawa Timur yang terdapat beberapa gunung berapi aktif dan sering mengalami peristiwa gempa, baik yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik maupun tektonik. Berdasarkan kajian geologi kebencanaan, Provinsi Jawa Timur diperkirakan akan mengalami dampak kerusakan yang signifikan apabila terjadi gempa, secara geografis, Provinsi Jawa Timur terletak di bagian tenggara Pulau Jawa. Analisis geologi dan seismologi menunjukkan bahwa terdapat beberapa

zona sumber gempa aktif yang memiliki potensi seismik yang tinggi terhadap wilayah tersebut. Zona-zona tersebut mencakup zona patahan seperti patah sesar selatan Jawa Timur, sesar Kendeng, sesar Wilis, serta zona subduksi yang berada di sekitar Selat Bali dan Samudra Hindia.

Wilayah Jawa Timur merupakan zona aktif seismik yang rentan terhadap gempa, disebabkan oleh dinamika pergerakan lempeng tektonik yang kompleks, yang dapat memicu gempa dengan magnitudo tinggi, oleh karena itu, pengembangan sistem peringatan dini sangat penting, dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Wilayah Selatan Jawa Timur memerlukan metode prediksi jangka pendek yang efektif, salah satu teknik yang diambil adalah dengan melakukan pengamatan terhadap prekursor gempa. Prekursor dapat diidentifikasi melalui berbagai parameter, seperti geofisika, geo-atmosferik, dan geodesi, serta melalui integrasi dari parameter yang ada (Pakpahan dkk, 2014). Analisis deteksi prekursor gempa dengan data geomagnetik ini diharapkan dampak dari bencana gempa dapat diminimalisir, memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk melakukan evakuasi atau persiapan yang dibutuhkan.

Prediksi gempa di Wilayah Jawa Timur dapat dilakukan melalui analisis sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*), yang memiliki rentang frekuensi antara 0,1 Hz hingga 10 Hz. Sinyal dihasilkan dari berbagai proses geologis, seperti pergerakan tanah dan deformasi batuan (Setiawan E, 2020). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) mengindikasikan perubahan kondisi di bawah permukaan, yang berpotensi menjadi prekursor gempa, oleh karena itu, pemantauan dan analisis sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat ber-

fungsi sebagai alat efektif untuk mendeteksi tanda awal gempa yang mampu memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk mengambil tindakan pencegahan sebelum bencana terjadi. Sinyal ULF memiliki kemampuan menembus lapisan kerak bumi yang dalam, sehingga pola anomali di bawah permukaan dapat lebih mudah diamati di permukaan dan dijadikan petunjuk awal kemungkinan terjadinya gempa (Masruri dkk., 2017).

Pendekatan penting dalam prakiraan gempa adalah pemantauan geodesi, yang meliputi pengukuran deformasi dan pergerakan tanah akibat aktivitas tektonik, dengan dukungan teknologi GPS (*Global Positioning System*) dan InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*), perubahan posisi permukaan bumi dapat diamati secara presisi sehingga potensi akumulasi tegangan pada sesar aktif dapat terdeteksi lebih awal. Integrasi hasil pemantauan dengan berbagai sumber data menghasilkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemungkinan terjadinya gempa, termasuk sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) diharapkan dapat memprediksi peristiwa gempa utama-nya di Wilayah Selatan Jawa Timur dapat meningkat secara signifikan. Studi tentang prekursor gempa menunjukkan bahwa data magnet bumi, khususnya dari spektrum frekuensi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*), dapat digunakan sebagai indikator awal peristiwa gempa, mengingat emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang berasal dari medan magnet dapat mengindikasikan gangguan seismik yang signifikan (Yumoto Ahadi dkk., 2013).

Pemahaman tentang pola anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang muncul sebelum terjadi gempa diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan keandalan prediksi, serta memberikan peringatan dini kepada masyarakat untuk mengambil langkah pencegahan sebelum terjadi bencana, selain itu, pengembangan model

yang akan berkontribusi pada metode mitigasi risiko bencana yang lebih baik, membantu pihak berwenang dan komunitas dalam merencanakan respon yang efektif terhadap potensi gempa (Kusuma H, 2019). Penelitian diharapkan dapat meningkatkan keselamatan masyarakat utama-nya di Wilayah selatan Jawa Timur dan memperkuat ketahanan terhadap dampak gempa, dengan sistem peringatan dini yang lebih efektif, masyarakat akan lebih siap menghadapi kemungkinan bencana, sehingga dapat mengurangi kerugian jiwa, upaya tidak hanya berfokus pada prediksi, tetapi juga pada peningkatan kesadaran dan kapasitas masyarakat dalam menghadapi risiko gempa, sehingga lebih tanggap dan siap dalam situasi darurat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengidentifikasi pola anomali dalam sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang dapat menjadi indikator dini terjadinya gempa, dengan memahami sinyal-sinyal ini, diharapkan dapat mengurangi risiko dan kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa, melalui pendekatan ilmiah ini, diharapkan masyarakat dapat lebih siap dalam menghadapi bencana yang terjadi, serta meminimalisir dampak yang ditimbulkan pada di wilayah selatan Jawa Timur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil identifikasi pola anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang muncul sebelum terjadi gempa, terutama di Wilayah Selatan Jawa Timur?

2. Apa saja faktor yang mempengaruhi keterkaitan antara anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dan kejadian gempa yang merusak di Wilayah Selatan Jawa Timur?

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan dalam latar belakang masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk:

1. Mengidentifikasi anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang muncul sebelum terjadi gempa di wilayah selatan Jawa Timur.
2. Mengetahui keterkaitan antara anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dengan kejadian gempa bersifat merusak di wilayah selatan Jawa Timur.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian dibatasi pada Wilayah di Selatan Jawa Timur dengan data yang digunakan meliputi hasil data gempa pada bulan Januari tahun 2021 hingga bulan Maret tahun 2025 dengan Magnitudo $>5,5$ SR dengan kedalaman 0-100 Km dan data geomagnetik yang bersumber dari MAGDAS (*Magnetic Data Acquisition System*) milik BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) Pasuruan.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat untuk memfasilitasi pengembangan bidang keilmuan.

Pengembangan ilmu pengetahuan terkait hubungan antara sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dan aktivitas seismik akan memperluas pemahaman di bidang geofisika.

2. Manfaat bagi program studi fisika.

Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya, dengan mengetahui anomali yang dapat diidentifikasi sebagai prekursor gempa, pihak berwenang dapat mengambil langkah mitigasi yang lebih efektif.

3. Manfaat bagi Masyarakat

Penelitian memberikan kontribusi signifikan dalam peningkatan sistem peringatan dini gempa yang memungkinkan masyarakat untuk lebih siap menghadapi bencana.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pentingnya Mengetahui Prekursor Gempa

Penelitian mengenai prekursor gempa yang melibatkan pendekatan multidisipliner dengan tujuan memahami tanda yang mungkin muncul sebelum peristiwa gempa. Langkah awal yang penting yaitu mengumpulkan data historis terkait aktivitas seismik di suatu wilayah. Peneliti memanfaatkan data dari stasiun seismik global untuk analisa pola yang dapat mengindikasikan peristiwa gempa. Melalui metode statistik dan analisis data untuk menemukan hubungan antara faktor geologis dan kejadian gempa, selain itu, penelitian prekursor juga mencakup pengamatan terhadap perubahan fisik di lingkungan, misalnya, pengukuran deformasi tanah dan fluktuasi tekanan air tanah dapat memberikan informasi berharga. Penelitian menunjukkan bahwa variasi tekanan air dalam sumur dapat menjadi sinyal awal aktivitas seismik, dengan memantau parameter secara berulang, peneliti berharap dapat mengidentifikasi pola yang mendahului gempa (Sato H., 2018).

Teknologi yang baik juga berperan penting dalam penelitian, seperti pemantauan gelombang elektromagnetik yang dapat memberikan informasi tambahan mengenai aktivitas geologis yang mungkin mendahului gempa yang bahwa lonjakan emisi radon dapat menjadi tanda awal pergerakan lempeng tektonik yang memanfaatkan sensor yang sensitif, peneliti mendeteksi perubahan secara *real-time*, oleh karena itu kolaborasi antara ilmuwan, pemerintah serta masyarakat sangat penting dalam penelitian prekursor gempa, melalui program pendidikan dan kesadaran publik, masyarakat dapat dilibatkan dalam pengumpulan data dan pengamatan perilaku hewan, dengan harapan penelitian mengenai prekursor gempa dapat

memberikan kontribusi signifikan dalam upaya mitigasi bencana dan perlindungan Masyarakat (McGuire J.,2019).

Kajian Al-Qur'an dalam konteks penelitian dalam Surah Al-Anfal (QS. 08:53):

ذَٰلِكَ بِأَنَّ اللَّهَ لَمْ يَكُ مُغَيِّرًا نِّعْمَةً أَنْعَمَهَا عَلَىٰ قَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ وَأَنَّ اللَّهَ سَمِيعٌ عَلِيمٌ ﴿٥٣﴾

Artinya: “Yang demikian itu karena sesungguhnya Allah tidak akan mengubah suatu nikmat yang telah dianugerahkan-Nya kepada suatu kaum sehingga mereka mengubah apa yang ada pada diri mereka. Sesungguhnya Allah Maha Mendengar lagi Maha Mengetahui”.

Ayat al-Qur'an di atas menyebutkan bahwa Allah SWT tidak akan mengubah nasib suatu kaum hingga mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri, yang dapat diartikan sebagai panggilan untuk seluruh umat manusia agar berusaha dalam mempersiapkan diri untuk menghadapi bencana yang akan terjadi.

2.2 Tatanan Tektonik Wilayah Jawa Timur

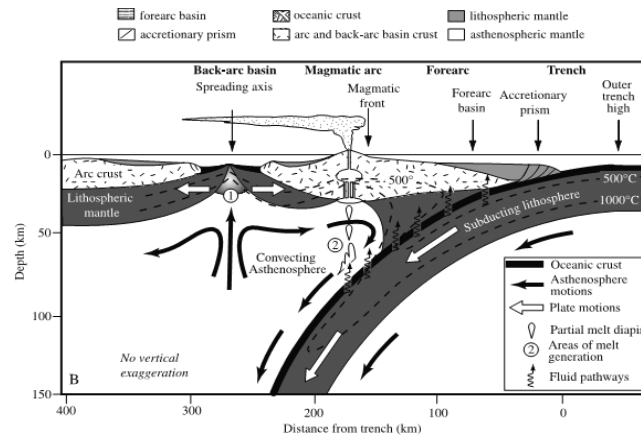
Jawa Timur merupakan wilayah yang memiliki potensi gempa yang signifikan, terutama di bagian pesisir selatan yang berdekatan dengan zona subduksi. Tektonik di Pulau Jawa, termasuk Jawa Timur, didominasi oleh interaksi antara Lempeng Indo-Australia yang menunjam ke utara di bawah Lempeng Eurasia. Proses subduksi terjadi pada kedalaman antara 100 hingga 200 km dan menghasilkan sesar-sesar aktif yang berkontribusi terhadap tingginya aktivitas seismik di wilayah Jawa Timur.

Wilayah bagian selatan Jawa Timur teridentifikasi sebagai wilayah dengan risiko tinggi terhadap gempa. BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) mencatat bahwa apabila terjadi peristiwa gempa dengan magnitudo maksimum 8 SR dampaknya bisa sangat merusak (Nurdiyanto, 2014). Delapan

kabupaten di selatan Jawa Timur, seperti Banyuwangi dan Jember, telah ditetapkan sebagai wilayah rawan tsunami dengan ketinggian gelombang yang dapat mencapai 29 meter (BMKG, 2018). Gempa yang terjadi di sekitar wilayah selatan Jawa Timur dapat menyebabkan kerusakan yang cukup luas. Sebagai contoh, gempa berkekuatan 6,1SR yang melanda Banten pada tahun 2018 yang mengakibatkan kerusakan signifikan di beberapa provinsi termasuk wilayah Jawa Timur, dengan lebih dari 20 gunung api aktif di sekitar zona terdekat dan potensi bencana geologis yang semakin meningkat.

Wilayah Indonesia berada di antara tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Interaksi antara lempeng membentuk tiga zona subduksi yang mengelilingi pulau-pulau di Indonesia yang berkontribusi pada tingginya aktivitas seismik dan vulkanik di kawasannya, ketiga zona subduksi tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Zona subduksi pertama terjadi antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia, zona yang terletak di lepas pantai barat Pulau Sumatera dan meluas ke selatan hingga lepas pantai Pulau Jawa dan Nusa Tenggara.
- b. Zona subduksi kedua adalah tumbukan antara lempeng Australia dan lempeng Pasifik, yang terjadi di sekitar Pulau Papua, di zona tersebut, lempeng Australia bergerak ke arah utara dan menyusup di bawah lempeng Pasifik.
- c. Zona subduksi ketiga merupakan interaksi antara ketiga lempeng, yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik, yang terjadi di sekitar Pulau Sulawesi. Wilayahnya memiliki geologi yang sangat kompleks dengan banyak patahan aktif (Kurniawan, 2016).



Gambar 2.1 Skema Elemen Tektonik dalam Pertemuan Lempeng Berupa Zona Subduksi (Sumber: Word Press.com).

2.3 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah fenomena alam yang terjadi akibat pelepasan energi secara mendadak di dalam kerak bumi, yang umumnya disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik. Gempa dapat didefinisikan sebagai getaran atau guncangan yang dihasilkan oleh aktivitas geologis di dalam bumi, yang sering kali berkaitan dengan interaksi antara lempeng tektonik yang saling bertumbukan, menjauh satu sama lain. Smith dan Jones (2015) menekankan bahwa lokasi dan intensitas gempa sangat dipengaruhi oleh struktur geologi wilayah yang ada, serta dinamika interaksi antara lempeng-lempeng yang ada.

Menurut Johnson (2015), mekanisme terjadinya gempa melibatkan pergerakan lempeng-lempeng bumi yang saling bertumbukan, menjauh, atau bergeser satu sama lain. Proses ini dapat berlangsung selama bertahun-tahun hingga dekade sebelum akhirnya terjadi pelepasan energi secara tiba-tiba. Johnson (2015) juga menekankan pentingnya pemantauan aktivitas seismik untuk memahami pola-pola yang mungkin muncul sebelum terjadi gempa. Penelitian oleh Martinez dkk., (2019) menunjukkan bahwa pemahaman tentang mekanisme dan penyebab gempa penting untuk meningkatkan upaya mitigasi risiko bencana, analisis data seismik

yang akurat dapat membantu dalam meramalkan potensi gempa dan mengurangi dampak yang ditimbulkan.

Penelitian oleh Kumar (2018) menyatakan bahwa dampak dari gempa tidak hanya terbatas pada kerusakan fisik pada infrastruktur, tetapi juga dapat menimbulkan efek psikologis yang signifikan bagi masyarakat yang mengalaminya, oleh karena itu, penting untuk memiliki strategi mitigasi bencana yang komprehensif. Strategi mencakup edukasi masyarakat tentang risiko gempa dan langkah keselamatan yang diambil sebelum, selama, dan setelah terjadi peristiwa gempa, pemahaman yang lebih baik mengenai gempa dan dampaknya, masyarakat dapat lebih siap dalam menghadapi bencana alam. Edukasi yang efektif membantu meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap bencana.

2.3.1 Klasifikasi dan Parameter Gempa

Berdasarkan kedalamannya, gempa dapat dibedakan menjadi tiga jenis, sebagaimana dijelaskan oleh beberapa peneliti. Pertama yaitu gempa dangkal, yang terjadi pada kedalaman kurang dari 60 km, biasanya menyebabkan kerusakan yang signifikan pada bangunan dan infrastruktur, serta mengakibatkan banyak korban jiwa, gelombang seismik dari gempa dangkal memiliki energi yang lebih besar saat mencapai permukaan, sehingga dampaknya terasa lebih kuat. Kedua, gempa menengah, yang terjadi pada kedalaman antara 60 hingga 300 km, memiliki dampak yang lebih ringan dibandingkan gempa dangkal, meskipun dapat dirasakan di permukaan, kerusakan yang ditimbulkan cenderung minimal, tergantung pada kekuatan gempa dan Lokasi (Kumar & Singh, 2020). Terakhir, gempa dalam, yang terjadi pada kedalaman lebih dari 300 km, biasanya tidak terasa di permukaan ka-

rena gelombang seismik kehilangan energi saat menempuh jarak yang jauh, meskipun gempa dalam dapat memiliki magnitudo yang tinggi, dampak langsung terhadap manusia dan infrastruktur sangat kecil. Penelitian menunjukkan bahwa klasifikasi ini menunjukkan bahwa kedalaman gempa sangat memengaruhi dampaknya, yang penting untuk dipahami dalam mitigasi risiko dan perencanaan bangunan di wilayah rawan gempa.

Menurut penelitian terbaru, gempa dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori berdasarkan penyebabnya. Menurut Smith dkk., (2016), klasifikasi ini mencakup gempa vulkanik, runtuh, jatuhnya, buatan, dan tektonik. Gempa tektonik, yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi, adalah yang paling umum terjadi di Indonesia. Penelitian menunjukkan bahwa gempa dapat menjadi tanda adanya aktivitas vulkanik yang akan terjadi, memberikan indikasi penting bagi mitigasi risiko bencana. Berikut adalah klasifikasinya:

1. Gempa Tektonik adalah gempa yang terjadi karena adanya tumbukan lempeng-lempeng di lapisan litosfer kulit bumi oleh tenaga tektonik.
2. Gempa Vulkanik adalah gempa yang terjadi akibat adanya aktivitas magma, biasanya sebelum gunung api meletus. Aktivitas magma yang meningkat dapat menyebabkan ledakan yang juga menghasilkan getaran permukaan bumi.
3. Gempa Runtuhan atau longsor yaitu gempa yang terjadi akibat adanya runtuhnya tanah atau batuan, sehingga tidak memiliki dampak luas seperti gempa tektonik atau vulkanik.
4. Gempa Buatan adalah gempa yang memang sengaja dibuat oleh manusia, contohnya ledakan nuklir di bawah tanah atau di laut yang dapat menimbulkan getaran permukaan bumi.

5. Gempa jatuhan adalah gempa yang jarang terjadi dan disebabkan oleh tumbukan meteor atau asteroid yang jatuh ke permukaan bumi.

Parameter gempa adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik dari suatu peristiwa gempa. Beberapa parameter utama yang sering digunakan dalam analisis gempa meliputi:

1. Waktu terjadinya Gempa

Waktu terjadinya gempa atau yang dikenal sebagai *Origin Time* (OT), adalah waktu spesifik ketika gelombang seismik pertama kali terdeteksi.

2. Lokasi Pusat Gempa

Lokasi pusat gempa, atau episenter adalah titik di permukaan bumi yang terletak tepat di atas hiposentrum (titik di dalam bumi tempat gempa terjadi).

3. Kedalaman Sumber Gempa

Kedalaman pusat gempa mengacu pada seberapa dalam hiposentrum berada di bawah permukaan bumi. Kedalaman tersebut dapat mempengaruhi intensitas guncangan yang dirasakan di permukaan..

4. Kekuatan Gempa (Magnitudo)

Kekuatan gempa yang diukur dalam magnitudo, adalah ukuran energi yang dilepaskan selama peristiwa gempa. Magnitudo biasanya diukur menggunakan skala Richter atau skala momen (*Moment Magnitude Scale*).

5. Intensitas Gempa Bumi (MMI)

Pada intensitas gempa dinyatakan dalam skala MMI (*Mercally Modified Intensity*) yang berdasarkan pengukurannya dilihat dari akibat yang terjadi, mungkin gempa terhadap struktur bangunan, terhadap manusia di lingkungan wilayah tempat yang telah terjadi (BMKG, 2020).

2.3.2 Tanda-tanda Sebelum Terjadi Gempa

Sebelum peristiwa gempa, terdapat beberapa tanda yang dapat diketahui. Meskipun tidak semua tanda memungkinkan akan terjadinya gempa, mengenali gejala yang ada dapat membantu masyarakat untuk lebih waspada, salah satu tanda yang terlihat adalah perubahan pada awan di langit. Awan yang berbentuk aneh, seperti tornado, dapat muncul akibat gelombang elektromagnetis yang kuat dari dalam bumi. Gelombang mempengaruhi bentuk awan dan sering kali terlihat sebelum gempa terjadi, selain perubahan pada awan, gangguan pada perangkat elektronik juga bisa menjadi indikasi akan terjadinya gempa, siaran televisi terganggu dengan suara yang tidak jelas, lampu yang berkedip meskipun tidak ada arus listrik, atau lampu neon yang tetap menyala redup tanpa aliran listrik, dapat menunjukkan adanya gelombang elektromagnetis yang tidak kasat mata. Apabila beberapa gejala muncul bersamaan, hal tersebut bisa menjadi pertanda bahwa gempa mungkin akan terjadi.

Perilaku hewan juga sering menjadi tanda sebelum terjadi gempa, hewan dapat merasakan perubahan yang terjadi di lingkungan mereka, sehingga mereka mungkin menunjukkan perilaku aneh seperti gelisah, berlarian, atau bahkan menghilang. Naluri hewan yang tajam sering kali menjadi petunjuk awal bagi manusia untuk bersiap menghadapi kemungkinan terjadinya gempa, selain itu, perubahan pada sumber air tanah juga bisa menjadi indikator, apabila air tanah tiba-tiba surut atau menunjukkan perubahan yang tidak biasa mungkin bisa menjadi tanda bahwa ada aktivitas geologis yang sedang berlangsung di bawah permukaan. Perubahannya apabila dikombinasikan dengan tanda-tanda lain yang dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya gempa, tidak ada metode yang mampu

memprediksi gempa dengan akurasi 100%, oleh karena itu, masyarakat harus tetap waspada untuk melakukan evakuasi apabila dibutuhkan, terutama yang berada pada zona wilayah yang rawan akan terjadi gempa (BNPB 2020).

2.4 Prekursor Gempabumi Berdasarkan Geomagnetik

Menurut beberapa ahli geofisika, perubahan dalam medan magnetik bumi dapat terjadi akibat pergeseran dan tekanan yang dialami oleh batuan di dalam kerak bumi sebelum terjadi gempa, ketika lempeng tektonik bergerak dan mengalami deformasi, hal tersebut dapat menyebabkan perubahan dalam distribusi muatan listrik di dalam batuan, yang pada gilirannya mempengaruhi medan magnet di sekitarnya. Penelitian menunjukkan bahwa fluktuasi dalam medan magnet dapat terdeteksi beberapa hari hingga minggu sebelum peristiwa gempa, memberikan peluang untuk memprediksi kejadian tersebut. Pengukuran geomagnetik dilakukan dengan menggunakan magnetometer yang dapat mendeteksi perubahan kecil dalam medan magnet, data yang diperoleh akan dianalisa untuk mencari anomali yang mungkin terkait dengan aktivitas seismik. Beberapa studi, seperti yang dilakukan oleh Kumar dkk., (2021) menunjukkan bahwa anomali geomagnetik dapat muncul di wilayah yang rentan terhadap gempa, dan analisis lebih lanjut dapat membantu dalam mengidentifikasi potensi waktu dan lokasi terjadinya gempa.

Penelitian anomali prekursor gempa dengan menggunakan data geomagnetik telah dilakukan oleh beberapa penelitian termasuk pada gempa di Kepulauan Nias mengidentifikasi anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) mendahului tiga gempa dengan kekuatan kecil, dengan *lead time* yang lebih pendek dibandingkan dengan gempa yang lebih besar di Sumatera (M. Hamidi, 2018). Analisis tiga gempa bumi di Sumatera pada tahun 2016 ($M_w > 6$) mengungkapkan anomali sinyal ULF

(*Ultra Low Frequency*) 12-24 hari sebelum event gempa, menggunakan pemrosesan data 24 jam (Yusdesra Osi, 2018). Sebuah penelitian di Sulawesi meneliti anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) mendahului lima gempa berkekuatan 5 pada tahun 2023, mendeteksi anomali dengan *lead time* berkisar antara 17 hingga 30 hari (Delfira Anggraini, 2024).

2.5 Metode Geomagnetik

Metode geomagnetik merupakan salah satu teknik geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan. Metode tersebut berlandaskan pada pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan yang disebabkan oleh distribusi benda-benda termagnetisasi di bawah permukaan (Panjaitan, M. 2015). Dengan cara tersebut, peneliti dapat mengidentifikasi anomali magnetik yang memberikan informasi mengenai struktur geologi dan jenis litologi di suatu wilayah, dalam konteks penelitian, metode geomagnetik memiliki keunggulan dalam hal kecepatan pengoperasian dibandingkan dengan metode geofisika lainnya. Pengukuran dilakukan menggunakan alat magnetometer, dan data yang diperoleh akan dianalisis untuk menentukan distribusi sifat magnetik dari batuan serta struktur geologi dibawahnya. Anomali magnetik yang terdeteksi dapat menunjukkan keberadaan mineral atau sumber daya alam lainnya, seperti minyak dan gas (Rusita, 2016). Pengambilan data geomagnetik biasanya dilakukan dengan cara zigzag di lokasi penelitian, sebelum pengambilan data, alat harus dikalibrasi dan disesuaikan dengan kondisi lapangan, setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah melakukan koreksi harian untuk mengatasi fluktuasi yang disebabkan oleh pengaruh eksternal seperti sinar matahari. Data yang telah

dikoreksi kemudian dianalisis untuk mendapatkan gambaran yang akurat mengenai kondisi bawah permukaan (Fatimah, 2018). Analisis geomagnetik memainkan peran penting dalam memahami struktur bawah permukaan bumi, potensi sumber daya mineral serta digunakan untuk mendeteksi anomali yang berkaitan dengan aktivitas seismik, yang dapat membantu dalam mitigasi risiko bencana.

Terdapat tiga fase perubahan fisik emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang terkait dengan gempa, sebagaimana dijelaskan oleh Wahyuningsih (2017). Fase-fase tersebut mencerminkan perubahan yang terjadi dalam medan magnet bumi yang berfungsi sebagai indikator atau prekursor sebelum terjadinya gempa. Fase pertama adalah peningkatan aktivitas geomagnetik yang terjadi beberapa bulan sebelum gempa. Pada tahap ini, terdapat anomali dalam sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang menunjukkan adanya perubahan dalam struktur litosfer. Peningkatan dapat diindikasikan oleh fluktuasi medan magnet yang lebih tinggi dari biasanya yang diyakini disebabkan oleh akumulasi tekanan di dalam kerak bumi. Tekanan ini dapat memicu deformasi fisik pada batuan, yang menghasilkan emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang terdeteksi oleh alat pengukur magnet.

Fase kedua ditandai dengan penurunan dimensi fraktal dari sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*). Penurunan biasanya terjadi satu bulan hingga beberapa minggu sebelum gempa terjadi. Dimensi fraktal yang menurun menunjukkan bahwa sistem geologi sedang mendekati kondisi kritis, di mana energi terakumulasi akan dilepaskan dalam bentuk gempa. Proses tersebut mencerminkan fenomena SOC (*Self-Organizing Criticality*), di mana sistem kompleks seperti litosfer mengalami transisi menuju keadaan kritis sebelum peristiwa gempa.

Fase ketiga adalah peningkatan emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang signifikan menjelang terjadinya gempa. Pada fase ini, sinyal menunjukkan lonjakan yang jelas dalam intensitasnya, mengindikasikan bahwa proses seismik telah memasuki tahap akhir sebelum gempa, lonjakan sering kali diikuti oleh peningkatan frekuensi dan amplitudo sinyal, yang menjadi tanda bahwa gempa akan terjadi. Data dari pengukuran sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) pada fase ini sangat penting untuk memberikan informasi awal kepada masyarakat dan pihak berwenang mengenai potensi terjadinya gempa.

2.5.1 Medan Geomagnetik

Medan magnet bumi adalah fenomena fisik yang meliputi ruang di sekitar bumi dan dihasilkan oleh aktivitas dinamis di dalam inti bumi, medan magnet berfungsi sebagai pelindung bagi planet bumi dari radiasi kosmik dan partikel bermuatan yang berasal dari matahari. Medan magnet bumi memiliki dua kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan, yang tidak berimpit dengan kutub geografis bumi, hal tersebut menyebabkan adanya deklinasi (Martiningrum, 2017).

Medan magnet bumi dapat dijelaskan melalui beberapa komponen utama. Pertama adalah deklinasi, yang merupakan sudut antara utara magnetik dan utara geografis. Kedua adalah inklinasi, yaitu sudut antara medan magnet total dengan bidang horizontal. Ketiga adalah intensitas horizontal, yang menggambarkan kekuatan medan magnet pada arah horizontal. Medan magnet bervariasi dalam kekuatannya, biasanya berkisar antara 25 hingga 65 mikrottesla. Medan geomagnetik juga mengalami perubahan seiring waktu, baik dalam hal kekuatan maupun orientasi kutubnya. Pembalikan kutub magnet bumi, yang terjadi setiap beberapa ratus ribu tahun, merupakan fenomena di mana kutub utara

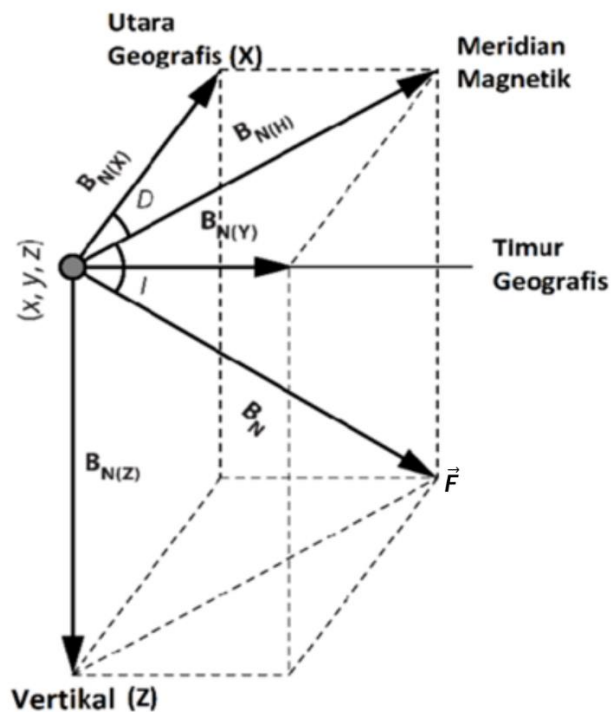
dan selatan bertukar tempat. Proses tersebut terekam dalam batuan purba yang mengandung mineral feromagnetik dan memberikan informasi berharga tentang sejarah geomagnetik bumi (BMKG, 2020).

Medan magnet bumi merupakan fenomena kompleks yang dihasilkan dari beberapa sumber berbeda, medan magnet dapat dibagi menjadi tiga sumber utama, yaitu (Sari, 2019):

1. Sumber internal medan magnet bumi berasal dari aktivitas dinamis di dalam inti bumi, terutama dari gerakan cairan logam di inti luar yang bersifat konduktif. Proses yang dikenal sebagai dinamo geomagnetik, di mana pergerakan cairan logam menghasilkan arus listrik yang pada gilirannya menciptakan medan magnet, berfungsi sebagai pelindung bagi bumi, menghalangi radiasi kosmik dan partikel bermuatan dari matahari.
2. Sumber eksternal medan magnet bumi meliputi pengaruh dari luar atmosfer, seperti angin matahari dan partikel bermuatan lainnya yang berasal dari matahari. Ketika angin matahari berinteraksi dengan medan magnet bumi maka dapat menyebabkan fenomena seperti aurora dan anomali geomagnetik.
3. Sumber antropogenik adalah kontribusi manusia terhadap medan magnet bumi, terutama melalui penggunaan teknologi yang menghasilkan medan magnet buatan, seperti pada perangkat elektronik, sistem kelistrikan, dan infrastruktur lainnya yang dapat menciptakan gangguan pada medan magnet alami.

Medan magnet bumi terdiri dari komponen vektor dari beberapa elemen penting yang mempengaruhi arah dan kekuatan medan dibawah permukaan, termasuk komponen horizontal dan vertikal yang dapat diukur dalam koordinat kartesian, serta variasi yang terjadi karena aktivitas geologis dan interaksi dengan

angin matahari (Rahman, 2023). Komponen arah utara sebenarnya geografis (X) dan arah timur sebenarnya geografis (Y). Pengukuran elemen medan magnet dilakukan untuk menentukan arah dan intensitasnya. Elemen tersebut meliputi deklinasi (D), yaitu sudut antara utara magnetik dan utara geografis; inklinasi (I), yakni sudut antara medan magnet total dengan bidang horizontal yang menunjukkan interaksi medan magnet dengan permukaan; intensitas horizontal (H) dan vertikal (Z) yang merepresentasikan besarnya medan pada masing-masing arah.



Gambar 2.2 Komponen Kemagnetan Bumi (Winarko, 2016).

Medan magnet bumi dapat dipahami melalui hubungan antar-elemen magnetik yang terukur, yang dinyatakan dalam sejumlah persamaan untuk menggambarkan interaksi di antar elemen, sebagai berikut:

$$\vec{F} = X\hat{i} + Y\hat{j} + Z\hat{k} \quad (2.1)$$

Hasil proyeksi F ke bidang Horizontal dinyatakan melalui persamaan:

$$H = \vec{F} \cos I \quad (2.2)$$

$$Z = \vec{F} \sin I \quad (2.3)$$

$$X = H \cos D, Y = H \sin D \quad (2.4)$$

Medan magnet total, sesuai arah vektor medan horizontal (H), medan vertikal (Z), komponen H ke arah utara X, komponen H ke arah timur Y, arah $\hat{i}$, $\hat{j}$, $\hat{k}$, sudut deklinasi (D) dan inklinasi (I). Intensitas untuk komponen horizontal dinyatakan dalam persamaan:

$$H = X\hat{i} + Y\hat{j} \quad (2.5)$$

Intensitas total medan magnetik bumi adalah:

$$\vec{B}_T = X\hat{i} + Y\hat{j} + Z\hat{k} \quad (2.6)$$

Medan magnet total juga memiliki sudut inklinasi (I) dan deklinasi (D). Sudut Inklinasi yaitu sudut vertikal antara vektor intensitas medan total dengan bidang horizontal dinyatakan dalam persamaan:

$$I = \arctan\left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right) \quad (2.7)$$

Deklinasi yaitu sudut yang dibentuk antara arah utara sebenarnya dengan utara magnetik yang dinyatakan dalam persamaan:

$$D = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (2.8)$$

2.6 Sinyal ULF (Ultra Low Frequency)

Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) adalah gelombang elektromagnetik yang berada dalam rentang frekuensi sangat rendah, yaitu antara 0,1 Hz hingga 3 kHz, dengan panjang gelombang yang panjang dan sering kali mencapai beberapa kilometer, yang memungkinkan untuk merambat jauh dan menembus berbagai hambatan tanpa kehilangan daya. Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sering

digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk komunikasi bawah air dan pemanfaatan geofisika, terutama dalam konteks penelitian gempa (Nurchaliza R, 2016).

Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) memiliki kemampuan penetrasi yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi aktivitas didalam kerak bumi. Anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dianggap sebagai indikator potensial untuk memprediksi terjadinya gempa, dimana penelitian menunjukkan bahwa perubahan dalam sinyal dapat terjadi beberapa hari sebelum peristiwa gempa, menjadikannya alat yang berharga sebagai sistem peringatan dini, selain itu, analisis data geomagnetik di wilayah rawan gempa telah menunjukkan adanya peningkatan emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebelum terjadi gempa, yang dapat memberikan informasi penting bagi mitigasi bencana (Kumar, 2021).

2.6.1 Sumber dan Jenis Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*)

Sumber dari sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat berasal dari berbagai fenomena geofisika, termasuk aktivitas seismik, perubahan tekanan, dan deformasi tanah, ketika terjadi perubahan dalam kondisi geologis, seperti akumulasi tegangan di dalam batuan, sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat mengalami perubahan anomali yang dapat diukur. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan dalam sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat terjadi beberapa hari hingga bulan sebelum terjadinya gempa yang menjadikannya sebagai indikator potensial untuk sistem peringatan dini, seperti analisis data geomagnetik di wilayah rawan gempa telah menunjukkan adanya peningkatan emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebelum peristiwa gempa yang memberikan informasi penting bagi mitigasi bencana. Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan sumber dan karakteristiknya. Pertama, sinyal elektromagnetik

natural berasal dari fenomena alami, seperti aktivitas geologis dan atmosfer, termasuk perubahan dalam medan magnet bumi akibat fluktuasi seismik. Kedua, terdapat sinyal elektromagnetik buatan yang dihasilkan oleh perangkat manusia, seperti sistem komunikasi bawah air dan eksperimen ilmiah, yang dapat digunakan untuk penelitian dan pemantauan geofisika, sinyal anomali menunjukkan perubahan signifikan dari pola normal dan sering kali dikaitkan dengan aktivitas seismik, berfungsi sebagai indikator potensi gempa, selain itu, sinyal seismik yang dihasilkan oleh getaran tanah akibat pergerakan lempeng tektonik juga dianalisis untuk memahami karakteristik dan pola pergerakan di dalam kerak bumi (Martinez, 2021).

Sinyal magnetik diukur menggunakan magnetometer dan digunakan untuk mendeteksi perubahan dalam medan magnet bumi yang berkaitan dengan aktivitas seismik (Setiawan B., 2015), dalam penelitian mengenai sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*), metode analisis seperti Transformasi *Fourier* sering digunakan untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik sinyal, dengan menggunakan data dari magnetometer, peneliti dapat menganalisis variasi frekuensi dan amplitudo sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang terekam sebelum terjadinya gempa. Hasil analisis tidak hanya membantu dalam memahami hubungan antara anomali geomagnetik dengan kejadian seismik, tetapi juga memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan model prediksi gempa yang lebih akurat.

2.6.2 Hubungan Antara Aktivitas Seismik dan Anomali Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*)

Aktivitas seismik dan anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) memiliki hubungan yang signifikan dalam konteks penelitian gempa. Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*), yang beroperasi dalam rentang frekuensi sangat rendah, dapat

berfungsi sebagai indikator awal dari perubahan yang terjadi di dalam kerak bumi sebelum peristiwa gempa. Penelitian menunjukkan bahwa ketika tekanan dan tegangan di dalam batuan meningkat dan terjadi perubahan dalam karakteristik sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*). Anomali tersebut dapat berupa perubahan amplitudo, frekuensi, atau pola gelombang yang terdeteksi oleh alat seperti magnetometer (Nurchaliza R., 2016).

Teori yang mendasari hubungan bahwasanya ketika terjadi akumulasi tegangan di dalam kerak bumi, material batuan dapat mengalami deformasi, prosesnya dapat menghasilkan emisi elektromagnetik yang terdeteksi sebagai sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*). Menurut teori piezoelektrik, ketika tekanan diterapkan pada material tertentu, seperti kuarsa yang sering ditemukan dalam batuan, akan terjadi pengisian muatan listrik yang mampu menghasilkan sinyal elektromagnetik. Penelitian oleh Hattori (2004) menunjukkan bahwa peningkatan emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) terdeteksi beberapa hari hingga bulan sebelum terjadinya gempa, yang menunjukkan bahwa sinyal dapat berfungsi sebagai prekursor gempa, selain itu, analisis data geomagnetik juga menunjukkan adanya hubungan antara anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dan kejadian seismik, dalam penelitian yang dilakukan oleh Wahyuningsih (2017), ditemukan bahwa variasi dalam sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat dihubungkan dengan aktivitas seismik sebelumnya peristiwa gempa.

2.6.3 Deteksi Prekursor Menggunakan Anomali Sinyal ULF (Ultra Low Frequency)

Deteksi prekursor gempa merupakan bidang penelitian yang terus berkembang, dengan berbagai metodologi yang digunakan untuk meningkatkan akurasi

prediksi. Teknologi utama yang digunakan adalah sistem pemantauan seismik, yang terdiri dari jaringan seismometer yang tersebar di berbagai lokasi. Alat tersebut berfungsi mendeteksi getaran tanah dan menganalisis gelombang seismik yang dihasilkan oleh aktivitas geologis, selain sistem pemantauan seismik, teknologi pemantauan elektromagnetik juga memainkan peran penting dalam deteksi prekursor gempa. Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) adalah jenis sinyal elektromagnetik yang dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan di dalam kerak bumi, dengan menggunakan magnetometer, peneliti dapat mengukur variasi dalam sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang mungkin menunjukkan adanya akumulasi tegangan di dalam batuan sebelum terjadi gempa. Penelitian menunjukkan bahwa anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) terjadi beberapa hari sebelum gempa dan dapat diukur sebagai indikator potensial sistem peringatan dini (Johnson dkk. 2017),

Metode polarisasi rasio Z/H untuk deteksi prekursor anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dengan perhitungan transformasi *Fourier*, persamaan yang digunakan adalah:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.9)$$

Data magnetik yang digunakan adalah data diskrit, sehingga proses yang digunakan adalah DFT (*Discrete Fourier Transform*).

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi k \frac{n}{N}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

x_k = koefisien hasil transformasi Fourier diskrit pada indeks frekuensi ke- k

x_n = data sinyal input dalam domain waktu (diskrit) pada sampel ke- n

N = jumlah total sampel data

k = indeks frekuensi diskrit ($k = 0, 1, 2, \dots, N-1$)

$e^{-i2\pi k \frac{n}{N}}$ = fungsi basis kompleks (sinusoidal) yang digunakan untuk memproyeksikan sinyal ke domain frekuensi.

Mencegah terjadinya hasil frekuensi diluar jangkauan yang dapat menimbulkan *noise*, maka dibutuhkan frekuensi sampling pada algoritma DFT (*Discrete Fourier Transform*) agar semua komponen transformasi normal maka digunakan frekuensi pembatas dengan sampel rate (V) dari alat yang disebut dengan frekuensi *Nyquist* sebagai berikut:

$$\text{Frekuensi Nyquist} = \frac{1}{2} \quad (2.11)$$

Analisa spektrum menggunakan metode *Welch* untuk membagi panjang sinyal menjadi beberapa bagian, setiap bagian diaplikasikan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) menggunakan *window Hamming*, yang memiliki hubungan sebagai berikut: (Ahadi dkk., 2015)

$$e\{P_{\text{Welch}}\} = \frac{1}{f_s L_s U} \int_{-f_s/2}^{f_s/2} P_{xx}(p) |W(f - p)|^2 dp \quad (2.12)$$

Keterangan:

f_s = frekuensi sampling

L_s = panjang data dalam satu bagian segmen

U = normalisasi dari periode (P_{xx})

W = *rectangular window*

f = frekuensi yang dipilih

Analisa perbandingan polarisasi rasio komponen Z/H dengan menentukan rata harian komponen vertikal dan horizontal.

$$S_{\Sigma HDay}(\omega) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum [SH(\omega)]^2} \quad (2.13)$$

$$S_{\Sigma ZDay}(\omega) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum [SH(\omega)]^2} \quad (2.14)$$

Didapat nilai harian komponen sebagai berikut:

$$HDay = \frac{s \sum HDay - \mu \sum HMonth}{\sigma \sum HMonth} \quad (2.15)$$

$$ZDay = \frac{s \sum ZDay - \mu \sum ZMonth}{\sigma \sum ZMonth} \quad (2.16)$$

Maka nilai polarisasi rasionya adalah:

$$PDay = \frac{ZDay}{HDay} \quad (2.17)$$

$S Hday$ = PSD harian komponen horizontal (H)

$S Zday$ = PSD harian komponen vertikal (Z)

$s \sum Hday$ = penjumlahan PSD harian komponen horizontal (H)

$s \sum Zday$ = penjumlahan PSD harian komponen vertikal (Z)

$\mu \sum Hmonth$ = PSD rata-rata bulanan komponen horizontal (H)

$\mu \sum Zmonth$ = PSD rata-rata bulanan komponen vertikal (Z)

$\sigma \sum Hmonth$ = standar deviasi nilai PSD komponen horizontal (H)

$\sigma \sum Zmonth$ = standar deviasi nilai PSD komponen vertikal (Z)

$Pday$ = rasio polarisasi komponen horizontal dan vertikal (Z/H)

$Zday$ = nilai spektrum harian komponen (Z) magnet

$Hday$ = nilai spektrum harian komponen (H) magnet

Polarisasi rasio Z/H menunjukkan anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebagai prekursor gempa apabila memiliki nilai yang melewati batas nilai dari standar deviasi, dilihat dengan data Indeks Dst untuk memastikan apakah anomali berasal dari aktivitas litosfer yang berasosiasi dengan prekursor gempa bukan dari badai magnetik, dan batas harus dibawah -50 nT.

2.6.4 Metode SSTF (Single Station Transfer Function)

Metode deteksi prekursor yang umum digunakan adalah SSTF (*Single Station Transfer Function*), dengan analisa frekuensi dan amplitudo sinyal yang terekam dari perubahan karakteristik sinyal, identifikasi pola terkait dengan aktivitas seismik, metode tersebut terbukti efektif mengungkap hubungan antara anomali sinyal elektromagnetik dan peristiwa gempa (Wahyuningsih U. 2017).

Metode SSTF memanfaatkan fungsi dari komponen bilangan (X,Y, dan Z) dimana koefisien dianggap sebagai invarian pada waktu dan durasi tertentu. Fungsi transfer mengandung informasi tentang konduktivitas listrik di bawah permukaan.

$$\Delta Z(\omega) = A(\omega) \cdot \Delta X(\omega) + B(\omega) \cdot \Delta Y(\omega) \quad (2.18)$$

Keterangan:

ΔZ = komponen vertikal

ΔX = komponen horizontal Utara-Selatan

ΔY = komponen horizontal Timur- Barat

A dan B = Konstanta fungsi transfer

Besarnya anomali magnet dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Amplitudo}(\omega) = \sqrt{A(\omega)^2 + B(\omega)^2} \quad (2.19)$$

Setelah nilai $A(\omega)$ dan $B(\omega)$ diketahui, maka besar arah datangnya sumber anomali magnet (θ) atau arah arus dari bawah stasiun dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\theta = \arctan \left(\frac{B(\omega)}{A(\omega)} \right) \quad (2.20)$$

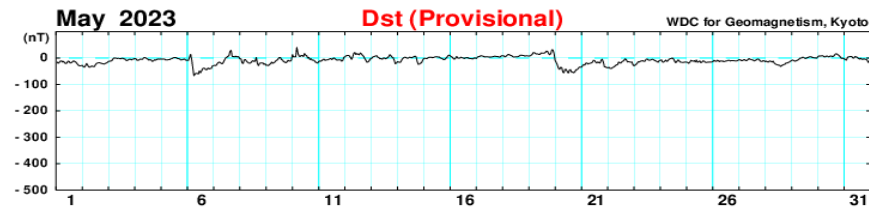
Arah azimuth titik sudut searah jarum jam dengan batas toleransi $\pm 22.5^\circ$.

2.6.5 Bandpass Filter

Bandpass filter merupakan metode yang diterapkan pada kekuatan sinyal gelombang ULF (*Ultra Low Frequency*), dimana akan memberikan output berupa nilai amplitudo di sebuah sinyal gelombang. Fase dan polarisasi yang dapat di hitung dalam frekuensi tertentu. Analisis nilai ULF (*Ultra Low Frequency*), kekuatan sinyal akan diestimasi di setiap frekuensi. Efek yang ada pada distorsi mampu di minimalisir dengan metode bandpass filter. Frekuensi sinyal dapat dilewati pada rentang tertentu di antara frekuensi pertama dan frekuensi kedua dan dapat meredam frekuensi di luar wilayah yang akan ditentukan, dengan metode bandpass filter maka frekuensi yang ada akan sempurna dan jauh dari gangguan yang dapat merusak komponen frekuensi sinyal dimana nilai akan setara.

2.6.6 Indeks Dst (Disturbance Strom Time)

Indeks Dst (*Disturbance Strom Time*) adalah metode yang memberikan gambaran nilai dari aktivitas medan magnetik di lintang yang rendah dan besar dari badai intensitas magnet di permukaan bumi, apabila nilai dari suatu indeks negatif maka indeks tersebut termasuk bernilai lemah dan sebaliknya jika nilai indeks positif maka kondisi medan magnet bernilai besar seperti saat ada badai matahari, ketika beberapa partikel dengan muatan yang tinggi dilepas keluar angkasa maka akan membuat adanya peristiwa badai matahari. Medan magnet yang mengalami gangguan terjadi apabila komponen partikel mencapai magnetosfer bumi, berikut salah satu contoh rekaman indeks Dst (*Disturbance Strom Time*) pada bulan Mei 2023.



Gambar 2.3 Indeks Dst (Disturbance Strom Time) bulan Mei 2023. (Kyoto University, https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/202305/index.html, diakses pada tanggal 22 Mei 2025)

Pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa pada bulan Mei 2023 telah terjadi badai magnet di pertengahan bulan yang ditandai dengan penurunan nilai indeks -50nT, di deskripsikan bahwasanya semakin negatif nilai indeks Dst (*Disturbance Strom Time*) berarti medan magnet bumi melemah yang disebabkan oleh gangguan badai magnet dan apabila nilai Dstnya kecil atau menurun maka semakin kecil gangguan badai magnet yang terjadi. Klasifikasi kekuatan badai magnet berdasarkan nilai indeks Dst (*Disturbance Strom Time*). Badai magnetik dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu badai lemah ditandai dengan penurunan antara -30 nT hingga -50 nT. Badai sedang penurunan antara -50 nT hingga -100 nT, sedangkan badai kuat terjadi saat nilai turun antara -100 nT hingga -250 nT. Untuk badai yang sangat kuat, nilai turun lebih dari -250 nT. Klasifikasi ini membantu dalam menilai dampak potensial dari badai geomagnetik terhadap teknologi dan aktivitas manusia di bumi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Wilayah Penelitian

Penelitian fokus pada Wilayah Selatan Jawa Timur dengan korrdinat seperti ditunjukkan pada gambar 3.1. pengolahan menggunakan data katalog gempa bulan Januari 2021 hingga Maret 2025 dengan Magnitudo $>5,5$ SR, kedalaman 0-100 Km, dan data geomagnetik pada periode 5 tahun.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Sensor Penelitian dan Wilayah Penelitian

3.2 Model Penelitian

Data yang digunakan adalah data parameter seismik dan data geomagnetik milik BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) Pasuruan, dengan analisis deskriptif yang menjelaskan hubungan sebab dan akibat dari variabel data. Data geomagnetik diolah dengan metode rasio polarisasi Z/H untuk memperoleh hasil anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*), penelitian juga menggunakan metode deskriptif karena memberikan gambaran berupa grafik dan gambar peta hasil dari data yang diperoleh.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam proses pengolahan data adalah perangkat lunak MATLAB MCR (*Componen Runtime*) milik BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) Pasuruan untuk mengolah data magnet yang di dapatkan dari stasiun magnet Tretes sehingga didapatkan hasil akhir berupa nilai polarisasi rasio Z/H dan *Software Microsoft Excel 2019* untuk menghitung nilai hasil batas normal dari aktivitas kemagnetan bumi dengan *output* grafik pola anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*).

Bahan yang digunakan dalam penelitian terdiri dari data hasil gempa yang terjadi di sekitar wilayah penelitian periode Januari 2021 sampai Maret 2025 yang di peroleh dari Web Katalog USGS (*United States Geological Survey*) dengan jenis magnitudo momen (Mw) dan magnitudo badan (Mb) dengan skala Mw > 5,5 SR dan kedalaman 0-100 km, hasil data nilai variasi magnet yang di peroleh dari variometer pada stasiun pengamatan magnet di sekitar wilayah Selatan Jawa Timur, data tersebut adalah data sekunder yang di dapatkan dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) Pasuruan, data magnet akan diolah dan dianalisis adalah data anomali emisi sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebelum terjadi gempa, data magnet yang digunakan adalah nilai dari komponen vertikal (Hz) dan Horizontal (Hh) dari MAGDAS Tretes, koordinat stasiun yang digunakan dalam penelitian di tunjukkan pada gambar Tabel 3.1

Tabel 3.1 Tabel koordinat sensor magnet yang di gunakan dalam penelitian

Nama Stasiun	Kode Stasiun	Lintang	Bujur	Tipe Alat
Tretes	TRT	7° 39' 50.5"	112°	-

3.4 Prosedur Pengolahan Data

3.4.1 Pensortiran Data

Data gempa disortir berdasarkan kriteria berikut:

- a. Data hasil gempa yang sesuai dalam Web USGS (*United States Geological Survey*) dengan nilai $M_w > 5,5$ SR dan kedalaman 0-100 km.
- b. Area penelitian fokus pada arah dengan radius < 350 km dari sensor MAGDAS (*Magnetic Data Acquisition System*) Tretes Pasuruan.
- c. Sumber data catatan gempa yang berlangsung selama 5 tahun yakni mulai bulan Januari 2021 hingga Maret 2025.

3.4.2 Konversi Data

Data geomagnetik di sesuaikan untuk input data geomagnetik, dengan mengubah format data mentah yang berekstensi *.gsi menjadi *.mgd, kemudian, file di konversi menjadi file ASCII yang berekstensi *.gea, tujuan dilakukan konversi adalah mempermudah membaca informasi hasil data oleh perangkat lunak MATLAB MCR, data yang digunakan untuk penelitian di komponen vertikal (Hh) dan horizontal (Hz).

3.4.3 Koreksi Data

Data geomagnetik yang sudah didapat akan di koreksi untuk menghilangkan gangguan, sehingga hasil yang diperoleh akan sesuai, tujuan dari koreksi adalah untuk mereduksi *artificial noise* dan *spike like noise* dengan metode diff, apabila nilai standar normal deviasi rata-rata maka data dianggap rusak dan tidak dapat dipakai dalam menentukan anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebagai prekursor gempa, kemudian dihitung koreksi hasil yang didapat untuk melihat data harian penuh dari setiap komponen.

3.4.4 Polarisasi Rasio Z/H

Polarisasi rasio dengan tujuan melihat spektrum anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) komponen vertikal dan horizontal dari data geomagnetik, dengan mengubah data dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan metode pola rasio komponen horizontal dan vertikal.

3.4.5 Identifikasi Anomali Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) Sebagai Tanda Awal Gempabumi

Data anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang terkait dengan prekursor gempa dimulai dengan menghitung nilai standar deviasi STD untuk menentukan batas normal dari aktivitas magnet. Hasil menunjukkan *onset time* anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*), kemudian dilanjutkan dengan metode *moving average* untuk mendapatkan standar deviasi ter-atas dan melihat nilai S_h dan S_z yang melebihi nilai standar dari data yang digunakan pada deteksi anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*).

3.4.6 Menentukan Arah Azimuth

Metode SSTF (*Single Station Transfer Function*) yang digunakan untuk deteksi arah azimuth sumber anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang terjadi. Hasil berupa plot kuadran yang akan di plot pada peta, dimana, posisi nol pada plot adalah letak variasi magnetik wilayah observasi, kemudian dilanjutkan dengan menentukan nilai azimuth setiap peristiwa gempa yang diperoleh apabila nilai rasio Z/H lebih besar dari standar deviasi yang mungkin apabila dalam 1 hari terdapat beberapa nilai azimuth yang sudah memenuhi syarat. Pertama rentang waktu 30 hari sebelum terjadi gempa, kemudian mengarah ke lokasi terjadinya gempa dengan titik awal di stasiun pengamatan dan polarisasi anomali rasio Z/H

melewati standar deviasi normal, sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) diklasifikasikan sebagai prekursor gempa dengan toleransi $22,5^\circ$ ke arah azimuth asli (Ahadi dkk., 2014).

3.4.7 Menghubungkan Parameter dengan Nilai Hasil Polarisasi

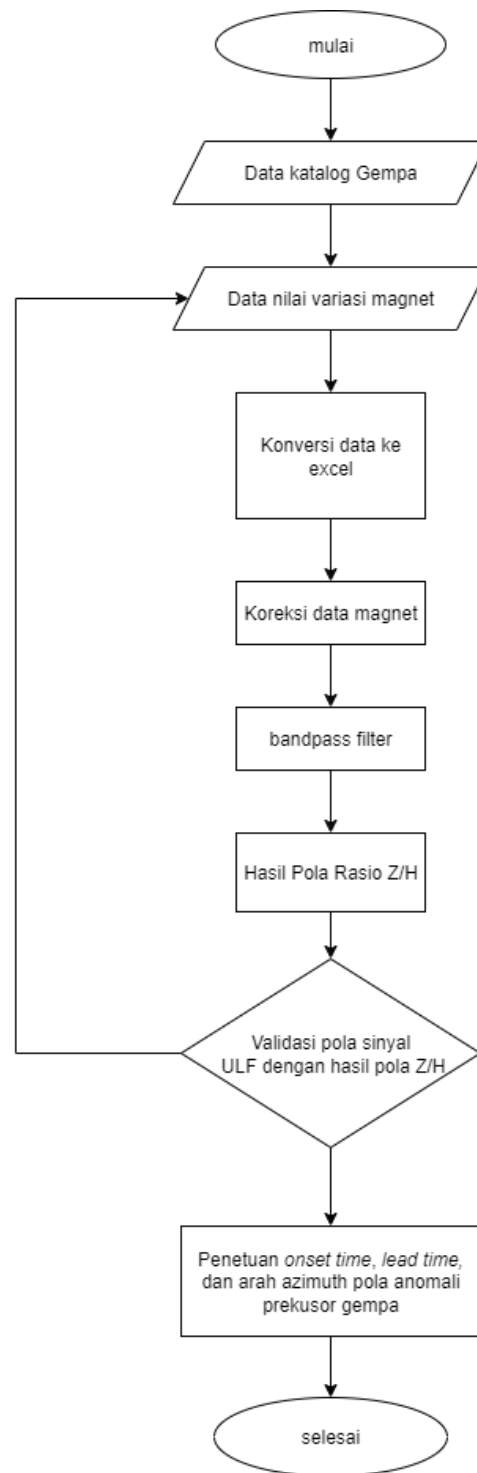
Anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang didapat akan di korelasi dengan nilai dari parameter yang ada, hasil informasi gempa yang sudah diketahui besar magnitudo serta jarak hiposenter dari lokasi stasiun pengamatan yang akan dibandingkan dengan rentang waktu muncul anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebelum peristiwa gempa, dari korelasi akan diketahui karakter anomali sinyal geomagnetik dalam sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) terhadap parameter lain.

3.5 Validasi Hasil

Penelitian membutuhkan beberapa data untuk validasi sebagai alat bantu interpretasi dalam pengolahan bahan penelitian, dengan data Indeks Dst (*Disturbance Storm Time*) yang berada di Universitas Kyoto pada bulan Januari 2021 hingga Maret 2025 dan data hasil grafik polarisasi rasio Z/H yang sudah di dapatkan dari BMKG. Data menggambarkan nilai aktivitas medan magnet bumi di lintang rendah dan besar intensitas badai magnet yang terjadi dari aktivitas seismik yang ada.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Prosedur pengolahan data hingga memperoleh hasil diperlihatkan pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Tahapan Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data gempa yang digunakan merupakan data magnet yang bersumber di Wilayah Selatan Jawa Timur dengan kedalaman 0-100 km selama kurun waktu Januari 2021 hingga Maret 2025. Stasiun yang mencatat data magnetiknya adalah stasiun TRT (Tretes Jawa Timur). Data magnetik yang digunakan didapatkan melalui *software* MAGDAS (*Magnetic Data Acquisition System*) milik BMKG Pasuruan. Kemudian data *event* gempa dari USGS (*United States Geological Survey*) dan untuk data Indeks Dst untuk mencocokkan hasil dari gempa dengan prekursor hasil anomali yang didapat apakah terdapat gangguan dari intensitas matahari atau tidak yang di akses di laman *website* <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>. Polarisasi rasio Z/H data magnet pada frekuensi 0,012 Hz dan 0,022 Hz (Ahadi dkk., 2014) digunakan untuk menentukan nilai anomali dari sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*). Rentang tersebut dipilih karena frekuensi rendah diyakini memiliki kemampuan untuk merekam sinyal yang berkaitan dengan tanda awal terjadinya gempa. Pengamatan dilakukan selama periode 30 hari sebelum peristiwa gempa, dengan tujuan untuk menangkap dinamika perubahan yang mungkin berkaitan dengan aktivitas seismik, salah satu parameter yang diamati adalah nilai polarisasi rasio Z/H, yaitu perbandingan antara komponen vertikal (Hz) dan horizontal (Hh) dari gelombang elektromagnetik yang terekam.

Setelah nilai polarisasi Z/H dari data pengamatan diketahui maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis statistik berupa perhitungan standar deviasi dengan perhitungan bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana fluktuasi nilai

polarisasi tersebut berlangsung dalam periode waktu tertentu. Apabila nilai fluktuasi polarisasi Z/H melebihi batas atas dari nilai standar deviasi yang telah dihitung, maka akan diinterpretasikan sebagai suatu anomali dari event gempa. Anomali dikategorikan sebagai sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang diduga berkaitan dengan aktivitas pra-gempa, dengan kata lain, keberadaan fluktuasi yang signifikan pada frekuensi sangat rendah dapat menjadi indikasi awal dari proses fisik yang terjadi di bawah permukaan bumi menjelang terjadinya peristiwa gempa. Sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) dapat dikategorikan sebagai prekursor gempa apabila memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut:

Tabel 4.1 Kriteria untuk Analisis Anomali Prekursor Gempa (M. Syirojudin, BMKG 2021).

1. Tidak semua output anomali di rilis sebagai informasi prekursor, kondisi temporal dimana anomali muncul dalam jangka pendek sebelum gempa (30 hari).	4. Apabila terdapat hasil arah azimuth yang sama, maka yang di rilis adalah azimuth pertama sampai rilis event gempa (diberikan bobot).
2. Anomali mengarah pada zona aktif gempa, dengan arah azimuth toleransi $\pm 22,5^\circ$.	5. Stasiun yang mengolah lebih dari 1 sensor berdekatan, anomali untuk potensi $M_w > 6SR$ direkam oleh minimal 2 stasiun.
3. Nilai gelombang amplitudo rasio Z/H pada angka wajar (< 20).	6. Apabila ingin mengeluarkan informasi untuk prekursor $M_w < 5SR$ perlu dibuatkan persamaan M_w lokal sendiri.

Berdasarkan kriteria yang tertulis pada Tabel 4.1, sesuai modul prekursor BMKG (2021) dapat dipahami bahwa suatu sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) tidak harus memenuhi seluruh persyaratan secara mutlak untuk dapat dikategorikan sebagai prekursor gempa, beberapa indikator, seperti adanya pola anomali rasio Z/H, arah azimuth yang konsisten menuju zona sumber gempa sudah cukup menjadi dasar untuk menyatakan adanya indikasi prekursor, demikian pemenuhan

sebagian syarat yang konsisten secara temporal telah memberikan gambaran yang valid mengenai potensi tanda awal peristiwa gempa.

4.1 Analisis Anomali Prekursor Pada Event Gempa

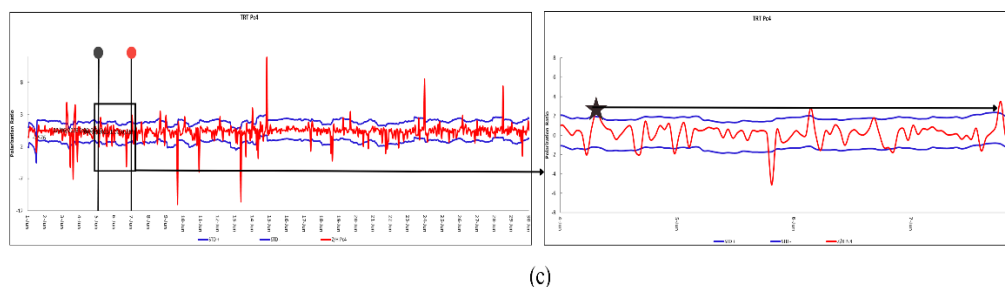
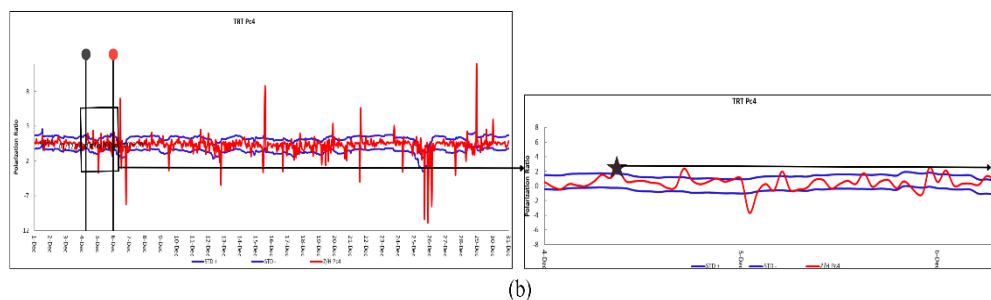
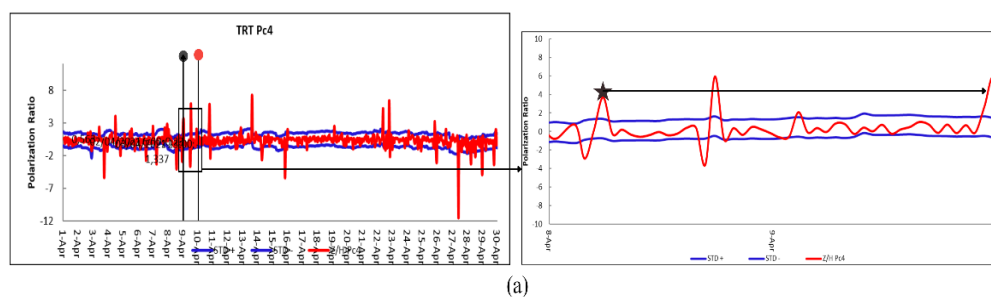
Identifikasi anomali sinyal prekursor yang muncul sebelum terjadi gempa dengan tujuan untuk mengetahui nilai grafik amplitudo prekursor gempa melalui analisis hasil data sinyal geomagnetik 30 hari sebelum event gempa, dimana prekursor terdeteksi di sekitar wilayah penelitian yang terekam oleh magnetometer gempa Tretes Pasuruan dan di olah dengan metode rasio Z/H di komputer Excel hingga menghasilkan grafik anomali yang dapat di analisis lebih lanjut. Berdasarkan hasil data analisis dari stasiun BMKG Pasuruan maka diperoleh hasil yang ada pada tabel dan grafik anomali sinyal yang ditampilkan di bawah ini.

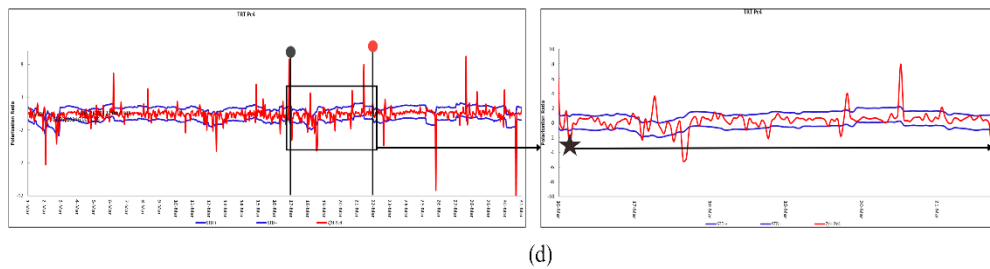
Tabel 4.2 Rekaman Data Pola Anomali Prekursor Gempa Tretes Pasuruan

No	Anomali	Amp litudo	Azi mutho	Rentang	Mw	Lokasi	Dampak	Ket.	Status
1	08/04/20 21/06.00 WIB	2.90 5 TRT	210. 535o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.2± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Blitar,Kab. Malang, Kota Blitar	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2023	Tidak Tervali dari
2	09/04/20 21/08.00 WIB	3.72 6 TRT	198. 627o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.3± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Blitar,Kab. Malang, Kota Blitar IV MMI	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2023	Tervali dari
3	09/04/20 21/19.00 WIB	5,94 1 TRT	319. 979o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.3 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Rembang, Kab. Tuban,Kab. Blora	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2023	Tidak Tervali dari
4	09/04/20 21/20.00 WIB	5.94 1 TRT	240. 716o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.5± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Trenggalek ,Kab. Pacitan,Kab. Ponorogo	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2022	Tidak Tervali dari
5	04/12/20 22 /16.00 WIB	2.00 0TR T	159. 868o	04/12/2022 - 07/12/2022	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar timur jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Lumajang IV MMI, Kab. Malang, Kab. Banyuwangi III MMI	Masih dimonitor Sampai 03/01/ 2023	Tervali dari
6	04/12/20 22 /19.00 WIB, 12 utc	2.38 7 TRT	316. 414o	04/12/2022 - 07/12/2022	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar utara jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.rembang V MMI, Kab. Tuban, Kab. Blora IV MMI	Masih dimonitor Sampai 03/01/ 2023	Tidak Tervali dari

Berdasarkan rekaman sensor magnet Tretes Pasuruan, contoh gambar tabel diatas dan keseluruhan berada di lampiran dari hasil identifikasi prekursor selama 30 hari sebelum gempa bervariasi sehingga dapat diyakini rekaman yang mengarah pada titik gempa tersebut merupakan efek yang bersumber dari daerah

persiapan gempa di sekitar wilayah penelitian. Pola anomali sebelum gempa di validasi hasil nilai rasio standar deviasi Z/H di angka wajar umumnya <20 batas normal prekursor tanpa gangguan dan anomali berbeda signifikan dari kondisi normal, dimana gelombang amplitudo ini bukan nilai simpangan dari gempa, namun hanya sebagai perhitungan M_w prekursor gempa, dengan tujuan melihat kondisi sinyal geomagnetik apakah benar pola rasio Z/H mengalami kenaikan dan indikasi bahwasanya pada hari tersebut anomali muncul sesuai ketentuan dan syarat anomali dan prekursor terdeteksi mirip event gempa yang terjadi, dengan menggunakan *Excel* dan rumus statistika untuk melihat pola rasio Z/H , sesuai gambar di bawah.





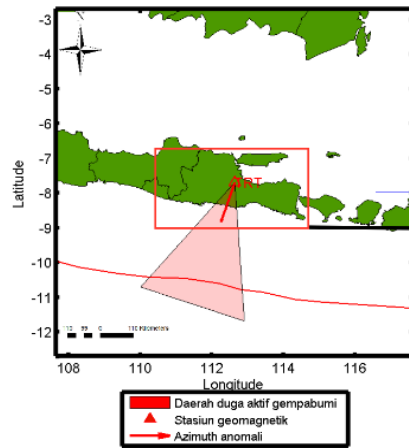
Gambar 4.1 Hasil Grafik Polarisasi Z/H Deteksi Prekursor (a) Bulan April 2021, (b) Bulan Desember 2022, (c) Bulan Juni 2023, (d) Bulan Maret 2024

Hasil grafik pola anomali sinyal yang pertama yaitu gempa yang terjadi pada tanggal 10 April 2021 pukul 14:00 WIB pada kedalaman 67 km dan kekuatan M 6 SR. Jaraknya sekitar 45 Km dari Selatan Sumberpucung Malang Jawa Timur, dengan *Onset Time* yaitu tanggal 09 April 2021 pukul 08.00 WIB dengan tinggi gelombang amplitudo adalah 3,726. Hasil pola anomali sinyal gempa kedua yang terjadi pada tanggal 06 Desember 2022 pukul 13:07 WIB pada kedalaman 17 Km dan kekuatan M 5,9 SR. Jaraknya sekitar 269 km dari selatan Kencong Barat Daya Jember Jawa Timur, dengan *Onset Time* yaitu tanggal 04 Desember 2022 pukul 16.00 WIB dengan tinggi gelombang amplitudo adalah 2,000. Hasil pola anomali sinyal gempa ketiga yang terjadi pada tanggal 07 Juni 2023 pukul 00.04 WIB pada kedalaman 18 km dan kekuatan M 5,6 SR. Jaraknya sekitar 146 Km dari selatan Wonosari Yogyakarta, dengan *Onset Time* yaitu tanggal 05 Juni 2023 pukul 12.00 WIB dengan tinggi gelombang amplitudo adalah 2,499. Hasil pola anomali sinyal gempa ke-empat yang terjadi pada tanggal 22 Maret 2024 pukul 11:22 WIB. Gempa tersebut memiliki kedalaman 10 Km dan kekuatan M 5,6 SR. Jaraknya sekitar 117 km dari utara Paciran, dengan *Onset Time* yaitu tanggal 17 Maret 2024 pukul 08.00 WIB dengan tinggi gelombang amplitudo adalah 3,530. Gempa susulan terjadi di hari yang sama pada pukul 15:52 WIB. Gempa tersebut memiliki kedalaman 9,5

Km dan kuatan M 6,4. Jaraknya sekitar 110 km dari utara Paciran. Hasil dari gambar grafik keseluruhan di atas, terlihat adanya anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang muncul dari Wilayah stasiun Tretes dengan *Onset Time* yang sama. Pada grafik hasil polarisasi menentukan tidak adanya indikasi badai magnetik, dan diperkirakan bahwa anomali tersebut berasal dari aktivitas litosfer bumi, yaitu *micro-cracking*. *Lead time* untuk peristiwa gempa 10 April 2021 adalah 1 hari, *Lead time* untuk peristiwa gempa 06 Desember 2022 adalah 2 hari, *Lead time* untuk peristiwa gempa 07 Juni 2023 adalah 2 hari, dan *lead time* untuk peristiwa gempa 22 Maret 2024 adalah 5 hari.

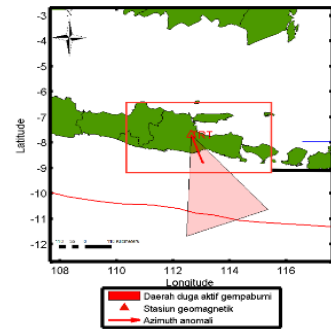
Analisis arah sumber anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) untuk menentukan pola anomali sinyal yang diduga sebagai prekursor gempa dalam penelitian diperkuat menggunakan metode SSTF (*Single Station Transfer Function*) dengan menggunakan program MATLAB MCR, dengan tujuan untuk melihat arah azimuth sebagai indikasi bahwasanya memang benar itu merupakan tanda awal sebelum event gempa terjadi dan sesuai dengan hasil grafik nilai amplitudo sebelumnya. Hasil gambar dibawah ini merupakan pemetaan dari program MATLAB MCR milik BMKG sebagai pendeteksi adanya tanda awal gempa yang terekam sesuai dengan hasil grafik amplitudo dari bandpass filter sebelumnya, rekaman prekursor gempa dengan *output* peta pada wilayah penelitian menuju wilayah terjadinya aktivitas seismik yang sedang berlangsung pada saat akan terjadi gempa.

PREKURSOR GEMPABUMI DENGAN DATA MAGNET BUMI
 Stasiun: TRT, Waktu: 2021-04-09 01:00 UTC, Azimuth = 198.627 Derajat
 Potensi Magnitudo = 5.3 $\pm$ 0.2, Dimonitor sampai dengan tanggal: 2021-05-09
 Dampak = Kabupaten Blitar IV MMI, Kota Blitar IV MMI, dan Kabupaten Malang IV MMI



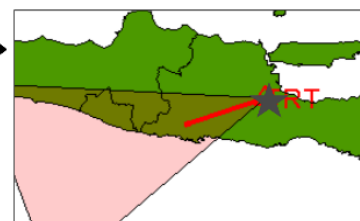
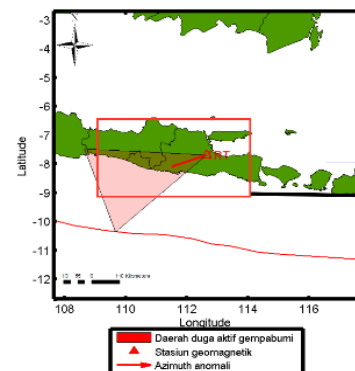
(a)

PREKURSOR GEMPABUMI DENGAN DATA MAGNET BUMI
 Stasiun: TRT, Waktu: 2022-12-04 09:00 UTC, Azimuth = 159.668 Derajat
 Potensi Magnitudo = 5.2 $\pm$ 0.2, Dimonitor sampai dengan tanggal: 2023-01-03
 Dampak = Kabupaten Lumajang IV MMI, Kabupaten Malang IV MMI, dan Kabupaten Banyuwangi III MMI

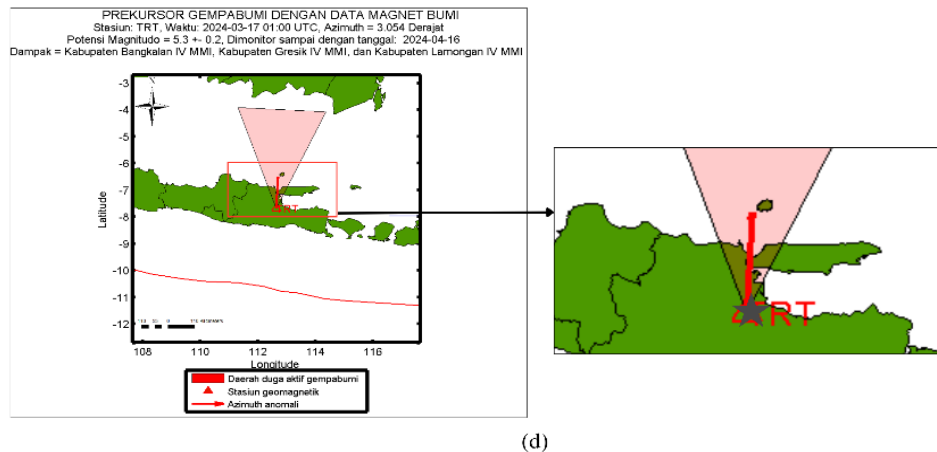


(b)

PREKURSOR GEMPABUMI DENGAN DATA MAGNET BUMI
 Stasiun: TRT, Waktu: 2023-06-05 05:00 UTC, Azimuth = 250.571 Derajat
 Potensi Magnitudo = 5.2 $\pm$ 0.2, Dimonitor sampai dengan tanggal: 2023-07-05
 Dampak = Kabupaten Pacitan V MMI, Kabupaten Ponorogo V MMI, dan Kabupaten Trenggalek V MMI



(c)



Gambar 4.2 Hasil Pemetaan Azimuth Sumber Anomali Sinyal ULF Stasiun Tretes (a) Prekursor Gempa April 2021, (b) Prekursor Gempa Desember 2022, (c) Prekursor Gempa Juni 2023 (d) Prekursor Gempa Maret 2024

Hasil analisis prekursor gempa yang pertama menunjukkan bahwa azimuth anomali menuju arah ke wilayah sumber terjadinya peristiwa gempa pada sudut 198.627° terhadap stasiun Tretes Pasuruan yang terlihat pada gambar (a) yang membuktikan bahwa anomali merupakan prekursor gempa pada tanggal 10 April 2021. Hasil analisis prekursor gempa yang kedua menunjukkan bahwa azimuth anomali menunjukkan arah ke wilayah sumber terjadinya peristiwa gempa pada sudut 159.868° terhadap stasiun Tretes Pasuruan yang terlihat pada gambar (b) yang membuktikan bahwa anomali merupakan prekursor gempa pada tanggal 06 Desember 2022. Hasil analisis prekursor gempa yang ketiga menunjukkan bahwa azimuth anomali menunjukkan arah ke wilayah sumber terjadinya peristiwa gempa pada sudut 250.571° terhadap stasiun Tretes Pasuruan yang terlihat pada gambar (c) yang membuktikan bahwa anomali merupakan prekursor gempa pada tanggal 07 Juni 2023. Hasil analisis prekursor gempa yang ke-empat menunjukkan bahwa azimuth anomali menunjukkan arah ke wilayah sumber terjadinya peristiwa gempa pada sudut 3.054° terhadap stasiun Tretes Pasuruan yang terlihat pada gambar (d)

Azimuth arah pola anomali dan gempa di hari yang sama dan membuktikan bahwa pola anomali dimana toleransi sudut $\pm 22,5^\circ$ merupakan kriteria prekursor gempa pada tanggal 22 Maret 2024.

Hasil penelitian pola anomali prekursor yang terdeteksi dan mengarah pada event gempa terlihat dalam tabel 4.3 dibawah dengan tujuan untuk mengetahui bahwasanya di dalam event gempa yang terjadi keseluruhan terdapat sinyal pola anomali prekursor yang direkam oleh alat magnetometer milik BMKG Tretes Pasuruhan, dihubungkan dengan syarat dan ketentuan pada tabel 4.1 dimana prelursor dapat terekam dengan baik sesuai referensi pada modul BMKG (2021).

Tabel 4.3 Tabulasi Sinyal Anomali Efektif untuk Prekursor Gempa 2021-2025

Anomali	Amp.	Azimuth	Rentang	Mw	Lok.	Dampak	Ket.
09/04/2021 /08.00 WIB	3.726 TRT	198.627o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.3 $\pm$ 0.2	Meliputi Sesar Selatan jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Blitar, Kab. Malang, Kota Blitar	Masih dimonitor sampai 12 /05/2021
04/12/2022 /16.00 WIB	2.000 TRT	159.868o	04/12/2022 - 07/12/2022	5.2 $\pm$ 0.2	Meliputi Sesar Selatan jatim dan atau yang daerah yang diarsir	kab. Lumajang IV MMI, Kab. Malang, Kab. Banyuwangi III MMI	Masih dimonitor sampai 03/01/ 2023
05/06/2023 /12.00 WIB	2.499 TRT	250.571o	05/06/2023 - 07/06/2023	5.2 $\pm$ 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Pacitan, Kab. Ponorogo, Kab. Trenggalek	Masih dimonitor sampai dengan 05/07/ 2023
17/03/2024 /08.00 WIB	3.530 TRT	3.054o	14/03/2024 - 18/03/2024	5.3 $\pm$ 0.2	Meliputi Sesar Selatan jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Bangkalan, Gresik, Lamongan IV MMI	Masih dimonitor sampai dengan 17/04/ 2024

4.2 Pembahasan dari Analisis Pola Anomali Prekursor Gempa

Hasil dari analisis awal prekursor gempa antara bulan Januari 2021 hingga Maret 2025 sebelum terjadinya gempa menunjukkan pola anomali yang signifikan, dalam analisis menggunakan data geomagnetik di stasiun Tretes Pasuruan Jawa Timur, terdapat 5 kejadian gempa yang dianalisis. Waktu yang terjadi sebelum terjadi gempa bervariasi, dengan nilai hasil presentase 0,002 dari total 1886 anomali

per 100% dan terdeteksi 5 gempa yang sesuai dengan kriteria yang disebabkan oleh pergerakan lempeng batuan di permukaan dan terjadinya gempa yang berbeda-beda, dengan tujuan untuk menentukan anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebagai indikasi awal peristiwa gempa, dilakukan analisis dalam rentang frekuensi $<1\text{Hz}$ yang diyakini dapat mengamati efek dari *microcracking* pada batuan yang berhubungan dengan pola anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) sebagai prekursor gempa yang disajikan pada tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Anomali Sinyal ULF (Ultra Low Frequency) Sebagai Prekursor Gempa Stasiun Tretes

Event Gempa	Mw Gempa	Azimuth Gempa	Onset Time (Anomali)	Amplitudo (Z/H) Prekursor	Azimuth Prekursor	Perbandingan Azimuth Gempa dan prekursor	Lead Time (hari)
10/04/2021 (07:00 UTC)	6.0SR	187°	09/04/2021 (01:00 UTC)	3.726	198.627°	11°	1
06/12/2022 (06:07 UTC)	5,9SR	166°	04/12/2022 (09:00 UTC)	2.000	159.868°	7°	2
07/06/2023 (17:04 UTC)	5,6SR	237°	05/06/2023 (05:00 UTC)	2.499	250.571°	13°	2
22/03/2024 (04:22 UTC)	5,6SR	355°	17/03/2024 (01:00 UTC)	3.530	3.054°	8°	5
22/03/2024 (08.52 UTC)	6,4SR	356°	17/03/2024 (01:00 UTC)	3.530	3.054°	8°	5

Hasil dari analisis dalam tabel 4.4 mengindikasikan bahwa anomali sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) berhasil teridentifikasi sebelum lima peristiwa gempa yang tercatat oleh Stasiun Tretes Pasuruan, event gempa pada 10 April 2021 dengan magnitudo Mw 6 SR dan arah azimuth 187° memenuhi kriteria sebagai prekursor gempa sesuai Tabel 4.1. Pertama, anomali prekursor tercatat pada 09 April 2021, yaitu 1 hari sebelum peristiwa gempa. Kedua selisih antara arah azimuth prekursor dengan arah event gempa adalah 11°, yang masih berada dalam batas toleransi $\pm 22,5^\circ$. Ketiga, nilai amplitudo rasio Z/H yang diperoleh sebesar 3,726, sehingga termasuk dalam kategori wajar <20 dan hasil analisis menunjukkan bahwa arah

azimuth yang terekam konsisten dengan arah episenter tanpa adanya output ganda, dengan demikian, pola anomali sinyal yang muncul pada peristiwa gempa tahun 2021 dapat dinyatakan telah memenuhi syarat sebagai prekursor gempa.

Event gempa 06 Desember 2022 dengan magnitudo Mw 5,9 SR dan arah azimuth gempa 166° . Pertama, anomali prekursor teridentifikasi pada 04 Desember 2022, yaitu 2 hari sebelum peristiwa gempa. Kedua, perbandingan azimuth antara prekursor dan event gempa menunjukkan selisih sebesar 7° , yang masih berada dalam batas toleransi $\pm 22,5^\circ$ sebagaimana tercantum pada Tabel 4.1. Ketiga, nilai amplitudo rasio Z/H yang diperoleh sebesar 2,000, yang masih berada pada angka wajar < 20 , sehingga dapat dinyatakan valid sebagai prekursor. Ke-empat, hasil monitoring menunjukkan arah azimuth yang konsisten menuju episenter gempa tanpa adanya output ganda, dengan demikian, pola anomali sinyal pada gempa 2022 telah memenuhi syarat sebagai prekursor gempa.

Peristiwa gempa pada 07 Juni 2023 dengan magnitudo Mw 5,6 SR dan arah azimuth 237° . Pertama, anomali prekursor yang muncul pada 05 Juni 2023, atau 2 hari sebelum gempa terjadi. Kedua, hasil analisis perbandingan azimuth prekursor dengan event gempa menghasilkan selisih 13° , yang masih sesuai dengan toleransi $\pm 22,5^\circ$. Ketiga, nilai amplitudo rasio Z/H tercatat sebesar 2,499, tetap berada di bawah batas wajar < 20 . Ke-empat, anomali arah azimuth yang terekam juga hanya menunjukkan satu arah yang konsisten dengan arah episenter. Berdasarkan kriteria tersebut, pola anomali sinyal yang muncul pada event gempa 2023 dapat dikategorikan sebagai prekursor gempa yang valid.

Gempa pada 22 Maret 2024 dengan 2 peristiwa gempa magnitudo Mw 5,6 SR dan 6,4 SR. Pertama, anomali prekursor yang muncul sejak 17 Maret 2024, yaitu

5 hari sebelum peristiwa gempa. Kedua, perbandingan azimuth antara arah prekursor dan event gempa menunjukkan selisih hanya 5° , yang masih dalam batas toleransi $\pm 22,5^\circ$. Ketiga, nilai amplitudo rasio Z/H yang diperoleh adalah 3,530, sehingga tetap berada dalam rentang wajar < 20 . Ke-empat, hasil monitoring juga memperlihatkan bahwa arah azimuth anomali konsisten dengan arah event gempa tanpa adanya anomali ganda, dengan demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa pola anomali sinyal pada peristiwa gempa 2024 memenuhi kriteria sebagai prekursor gempa.

Hasil analisis prekursor gempa secara keseluruhan menunjukkan adanya keterkaitan langsung dengan lima peristiwa gempa yang dianalisis, meskipun terdapat keterbatasan pada pemenuhan kriteria nomor 5 dan 6 sebagaimana tercantum pada Tabel 4.1 secara ideal, untuk gempa dengan $M_w > 6$ SR, anomali prekursor seharusnya terekam minimal oleh dua stasiun dengan lebih dari satu sensor yang berdekatan, sedangkan untuk gempa dengan $M_w < 5$ SR diperlukan perhitungan khusus menggunakan persamaan lokal, namun, penelitian ini dibatasi hanya menggunakan data dari satu stasiun, yaitu Stasiun Tretes Pasuruan di Jawa Timur, dengan fokus pada peristiwa gempa bermagnitudo $> 5,5$ SR pada kedalaman 0–100 km, oleh karena itu, meskipun tidak semua kriteria dapat terpenuhi, hasil analisis tetap dapat dikategorikan sebagai prekursor gempa karena memenuhi indikator utama berupa keteraturan arah azimuth serta keterkaitan temporal dengan peristiwa gempa yang terjadi.

Rujukan jurnal yang memperkuat penelitian anomali prekursor gempa ini salah satunya yaitu penelitian milik Andreas Gatot Prabowo (2023) yang fokus pada penelitian khusus di wilayah Selat Sunda dan sekitarnya, dimana mengkaji pola

anomali gelombang elektromagnetik ULF (*Ultra Low Frequency*) sebagai prekursor gempa di wilayah Selat Sunda, fokus pada efek *microcracking* di litosfer, sebagai mitigasi bencana gempa melalui identifikasi prekursor, serta memberikan pemahaman tentang hubungan antara aktivitas seismik dan emisi elektromagnetik menggunakan modul analisis magnet bumi untuk prekursor gempa milik BMKG, merujuk pada beberapa pakar yang telah memberikan kontribusi signifikan dalam prekursor seperti penelitian oleh Hattori. (2004), yang membahas pengukuran gelombang elektromagnetik dan keterkaitannya dengan aktivitas seismik yang melakukan penelitian mengenai gangguan magnetik sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) yang terhubung dengan sumber seismik, diperkuat dengan analisis dari hasil penelitian yang ada, memberikan konteks yang lebih mendalam mengenai metodologi dan validitas data magnet bumi sebagai indikator prekursor gempa.

Kajian hikmah hasil yang sesuai dengan penelitian terdapat dalam Surah Al-‘Imran (QS.3:186):

لَتَجْلِبُونَ فِيْ أَمْوَالِكُمْ وَأَنْفُسِكُمْ وَلَتَسْمَعَنَّ مِنَ الَّذِينَ أُوتُوا الْكِتَابَ مِنْ قَبْلِكُمْ وَمِنَ الَّذِينَ أَشْرَكُوا أَذًى كَثِيْرًا وَإِنْ تَصْبِرُوا وَتَتَّقُوا فَإِنَّ ذَلِكَ مِنْ عَزْمِ الْأُمُورِ ﴿١٨٦﴾

Artinya: ”Kamu pasti akan diuji dalam (urusan) hartamu dan dirimu. Kamu pun pasti akan mendengar banyak hal yang sangat menyakitkan hati dari orang-orang yang diberi Alkitab sebelum kamu dan dari orang-orang musyrik. Jika kamu bersabar dan bertakwa, sesungguhnya yang demikian itu termasuk urusan yang (patut) diutamakan”.

Ayat di atas menyatakan bahwa setiap makhluk Allah SWT pasti akan menghadapi ujian, dan ini dapat dihubungkan dengan bagaimana kita menanggapi bencana melalui sains dan teknologi terutama dalam konteks geofisika, melalui pemahaman bagaimana struktur bumi dan deteksi dini suatu peristiwa alam yang terjadi, dengan meminimalisir dampak buruk yang terjadi dan menyelamatkan lebih

banyak jiwa, bersabar dan bertakwa seperti yang di jelaskan dalam ayat tersebut sangat relevan, dengan tetap tenang serta tetap bersandar kepada Allah SWT sembari memanfaatkan ilmu pengetahuan untuk kebaikan selama hidup dunia.

Kajian yang sesuai lainnya terdapat dalam surah Al-Baqarah (QS. 2:155-157):

وَلَنَبْلُوَنَّكُمْ بِشَيْءٍ مِّنَ الْخَوْفِ وَالْجُوعِ وَنَقْصٍ مِّنَ الْأَمْوَالِ وَالْأَنْفُسِ وَالثَّمَرَاتِ ۗ وَبَشِّرِ الصَّابِرِينَ ﴿١٥٥﴾
الَّذِينَ إِذَا أَصَابَتْهُمُ مُّصِيبَةٌ قَالُوا إِنَّا لِلَّهِ وَإِنَّا إِلَيْهِ رَاجِعُونَ ﴿١٥٦﴾ أُولَٰئِكَ عَلَيْهِمْ صَلَوَاتٌ مِّن رَّبِّهِمْ وَرَحْمَةٌ
وَأُولَٰئِكَ هُمُ الْمُهْتَدُونَ ﴿١٥٧﴾

Artinya: "(155) Kami pasti akan mengujimu dengan sedikit ketakutan dan kelaparan, kekurangan harta, jiwa, dan buah-buahan. Sampaikanlah (wahai Nabi Muhammad,) kabar gembira kepada orang-orang sabar, (156) (yaitu) orang-orang yang apabila ditimpa musibah, mereka mengucapkan: "Innā lillāhi wa innā ilaihi rāji'ūn" (sesungguhnya kami adalah milik Allah dan sesungguhnya hanya kepada-Nya kami akan kembali). (157) Mereka itulah yang memperoleh ampunan dan rahmat dari Tuhannya dan mereka itulah orang-orang yang mendapat petunjuk".

Ayat di atas menjelaskan tentang ujian dan kesabaran dalam menghadapi musibah, termasuk bencana yang mengandung pelajaran tentang bagaimana seharusnya sikap kita terhadap bencana yang akan terjadi, termasuk peristiwa gempa. Allah SWT memberikan arahan dan gambaran bagi orang yang sabar selama hidup di dunia, mereka yang tetap tenang, selalu berserah diri terhadap apa yang terjadi, semua yang diciptakan di alam dunia ini akan kembali kepada-Nya, ayat al-Qur'an ini mengajarkan betapa pentingnya untuk ikhlas dan selalu tawakal serta sadar bahwa ujian hidup akan selalu ada, akan datang ampunan dan rahmat serta petunjuk dari Allah SWT yang menyertai Hamba-Nya selama tidak melanggar apa yang sudah diperintah-Nya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Anomali prekursor yang di dapatkan dari hasil olah data geomagnetik dengan melihat lagi kriteria dalam pembahasan dimana waktu muncul pola anomali sinyal <30 hari dan terdapat pola azimuth yang konsisten dengan toleransi sudut $\pm 22,5^\circ$, terdapat 5 gempa yang diidentifikasi dengan azimuth yang di dapatkan $<13^\circ$ mengarah ke zona aktif lokasi episenter gempa di sekitar wilayah penelitian.
2. Faktor yang memengaruhi keterkaitan antara anomali sinyal prekursor dengan peristiwa gempa ditunjukkan melalui hasil analisis amplitudo gelombang polarisasi rasio Z/H , nilai diidentifikasi apabila amplitudo melebihi batas standar deviasi normal pada bulan terjadinya gempa, anomali terdeteksi pada angka amplitudo gelombang menunjukkan nilai >2 , yang direkam oleh magnetometer Stasiun BMKG Tretes Pasuruan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran dari penulis untuk mendukung penelitian yang lebih baik adalah diperlukannya data magnet yang berkualitas baik agar dapat diisolasi dari berbagai gangguan yang menghambat penentuan anomali sinyal prekursor gempa dan masyarakat dapat lebih siap dalam menghadapi bencana alam yang akan terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, H. (2019). *Dampak Aktivitas Vulkanik dan Seismik di Wilayah Jawa Timur*. Jurnal Ilmu Kebencanaan.
- Ahadi, S., Puspito, N. T., Ibrahim, G., Saroso, S., Yumoto, K., and Muzli, M. (2015): *Anomalous ULF Emissions and Their Possible Association with the Strong Earthquake in Sumatra, Indonesia during 2007-2012*. J. Math. Fund.Sci. Vol 47, No.1 2015, 84 103.
- Anggraini D., dkk. (2024). *Deteksi Anomali Sinyal ULF Prekursor Gempa Sulawesi*. Jurnal Geomagnetik Nasional. 18(1),33-42.
- Amalia D. L. (2020). *Analisis Kerentanan Wilayah Terhadap Gempabumi*. Jurnal Fisika, Universitas Udayana..
- BMKG. (2024). *Laporan Gempa Bumi di Jawa Timur*. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- BNPB. (2024). *Data Kerusakan Akibat Gempa di Jawa Timur*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Campbell, W. H. (2003). *Introduction to Geomagnetism*. New York: Taylor & Francis.
- Currie, J. L., and Waters, C. L. (2014), *On the use of geomagnetic indices and ULF waves for earthquake precursor signatures*, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, 992– 1003, doi:10.1002/2013JA019530.
- Duhri, N. I., Tiwow, V. A., & Ihsan, N. (2019). *Identifikasi Material Bawah Permukaan Kecamatan Bontocani Kabupaten Bone Menggunakan Metode Geomagnet*.
- Febriani, R. dkk. (2014). *Analisis Prekursor Gempa Bumi Menggunakan Rasio Polarisasi SH/SZ*. Jurnal Geofisika.
- Fatimah, Lavanto, A. T., Gunawan, B., & Febriarto, O. (2018). *Analisis Potensi Panas Bumi Dengan Metode Geomagnetik Di Daerah Gedong Songo Ungaran Jawa Tengah*. Jurnal Fisika, 6(2), 101-110.
- Hidayat, N., & Basid, A. (2011). *Analisis Anomali Gravitasi Sebagai Acuan Dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan Dan Potensi Geothermal*.
- Hak, A.S. (2018). *Anomali Data Elektromagnetik pada Frekuensi Sangat Rendah (Ultra Low Frequency) yang Berkaitan dengan Gempa $M = 6,1$ di Daerah*

Lebak, Banten. Skripsi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.

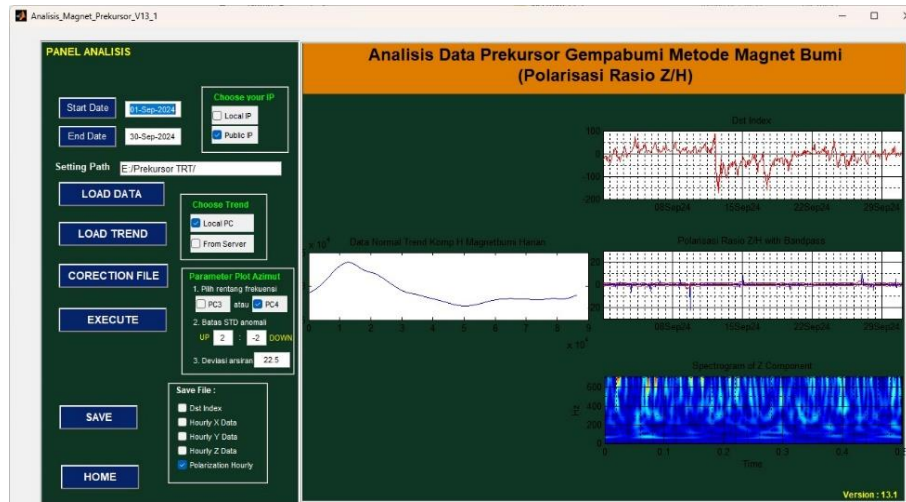
- Hattori, K. (2014). *Precursor Earthquake Analysis with Ultra Low Frequency Emission Data: Case Studies of Spitak and Loma Prieta Earthquakes*.
- Hashimoto, H., Enomoto, Y., Tsunumi, Y dan Kasahara, M.(2002): *Anomalous geo-electric signals associated with recent seismic activity in Tsukuba dan Volcanic activity at Mt. Usu Hokaido, in: Seismo-Electromagnetic (Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling)* Edited by: Hayakawa, M. dan Molchanov, O., Terrapub, Hal. 77-80.
- Hayakawa, M., Kawate R., Molchanov O.A., dan Yumoto K.,(1996): *Result of Ultra-Low Frequency Magnetic Field Measurements during the Guam Earthquake of 8 augustus 1993*, Geophysical Research Lett., Vol 23, No.3, Hal.241-244.
- Hayakawa, M., Itoh, T., Hattori, K., dan Yumoto, K.,(2000): *ULF electromagnetic precursor for an earthquake at Biak Indonesia on February 17, 1996.*, Geophysic. Res.Lett., 27, 1531-1534.
- Kurniawan, Miftahul. (2016). *Pemetaan Tingkat Risiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi*. Skripsi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Kumar, R., & Singh, A. (2021). *Monitoring ULF Emissions for Earthquake Prediction: A Review*. *Geophysical Research Letters*, 48(12).
- Masruri dkk. (2017). *Pemantauan Aktivitas Geomagnetik dengan Sinyal ULF*. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Alam*.
- Martinez, L., (2019). *Seismic Signal Analysis for Earthquake Prediction: Advances and Challenges*. *Geophysical Journal International*, 224(3), 1234-1245.
- Mulyo, & Martiningrum. (2017). *Medan Magnet Bumi: Karakteristik dan Perannya*. *Jurnal Fisika*. Surabaya Press.
- Panjaitan, M. (2015). *Penerapan Metode Magnetik dalam Menentukan Jenis Batuan dan Mineral*. *Jurnal Riset Komputer (JURIKOM)*, 2(6), 69-72.
- Pakpahan, S. dkk. (2014). *Integrasi Parameter Geofisika untuk Prediksi Gempa Bumi*. *Jurnal Ilmu Kebencanaan*.
- Rahmat Setyo Y. dan Telly K. (2019). *"Analisis Variasi Stress Drop pada Zona Sesar dan Subduksi."* *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*.
- Sari, R. dkk. (2018). *Analisis Geologi dan Potensi Gempa di Kabupaten Malang*. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Alam*.

- Syirojudin, M. (2021). *Modul Diklat Teknis Analisis Magnet Bumi untuk Prekursor Gempabumi*. Jakarta: Pusat Seismologi Teknik, Geofisika Potensial, dan Tanda Waktu – BMKG.
- Sato, H., dkk. (2018). "Pressure Changes in Groundwater as a Precursor to Earthquakes. *Jurnal Seismologi*, 22(4), 1234-1245
- Setiawan, E. (2020). *Analisis Sinyal ULF sebagai Indikator Gempa Bumi*. *Jurnal Geofisika*.
- Wahyuningsih, U. (2017). *Analisis Emisi Ultra Low Frequency (ULF) Sebagai Prekursor Gempa Bumi*. *Jurnal Geofisika dan Meteorologi*.
- Winarko, A. (2016). *Visualisasi Komponen Medan Magnet*. Yogyakarta: Deepublish.
- Yumoto, K., dkk. (2013). *Global Network of Magnetic Observation and Earthquake Precursors*. *Earth Planet Space*. 65(7) 763-777.
- Yumoto, K., Ikemoto, S., Cardinal M.G., Kawano. H., Yoshikawa A., Maeda G Hayakawa M., Hattori K., Liu J.Y., Saroso S., Husni M., Widarto D.S., Ramos E.G., Otodoy R.E.S., dan MAGDAS group.(2007): *Space Weather dan Seismo Electromagnetic. Electromagnetic in Seismic dan Volcanic Areas*. *Proceeding Bilateral Seminar Italy Japan July 25 27, 2007*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil dan Pengolahan Data Geomagnetik

- a. Tampilan Data Geomagnetik pada MATLAB MCR BMKG Pasuruan



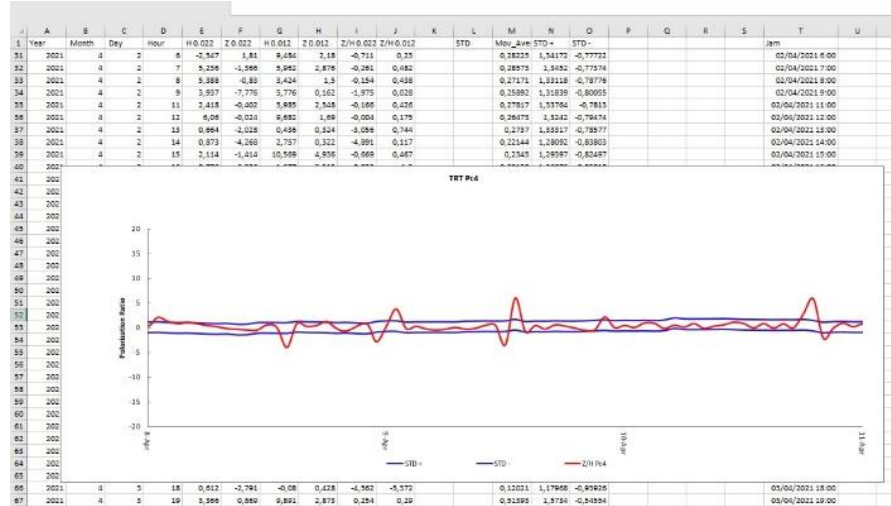
- b. Hasil data rekaman mentah sebelum melewati proses polarisasi rasio Z/H

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Year	Month	Day	Hour	H 0.022	Z 0.022	H 0.012	Z 0.012	Z/H 0.022	Z/H 0.012
2	2021	4	1	1	2,703	-5,105	8,863	4,994	-1,888	0,563
3	2021	4	1	2	6,435	-0,618	5,859	4,017	-0,096	0,686
4	2021	4	1	3	6,129	-0,019	8,713	-1,181	-0,003	-0,136
5	2021	4	1	4	5,621	-4,182	8,555	7,081	-0,744	0,828
6	2021	4	1	5	4,283	0,671	8,576	0,663	0,157	0,077
7	2021	4	1	6	8,08	1,894	11,752	3,272	0,234	0,278
8	2021	4	1	7	-1,759	-2,806	7,852	5,653	1,595	0,72
9	2021	4	1	8	0,72	-1,76	6,754	5,015	-2,444	0,743
10	2021	4	1	9	1,345	0,468	2,059	-0,795	0,348	-0,386
11	2021	4	1	10	4,535	-0,095	7,501	3,578	-0,021	0,477
12	2021	4	1	11	-0,826	-5,548	1,695	0,88	6,717	0,519
13	2021	4	1	12	-5,371	-4,222	9,986	2,032	0,786	0,203
14	2021	4	1	13	0,775	-4,067	6,285	-0,992	-5,245	-0,158
15	2021	4	1	14	1,537	0,8	3,86	1,442	0,521	0,374
16	2021	4	1	15	-1,613	-2,947	3,004	-1,551	1,828	-0,516
17	2021	4	1	16	-1,825	-10,947	5,927	1,397	6	0,236
18	2021	4	1	17	1,5	-2,212	4,158	-0,263	-1,474	-0,063
19	2021	4	1	18	3,423	-5,389	8,048	-2,903	-1,574	-0,361
20	2021	4	1	19	-2,265	-0,863	10,692	4,504	0,535	0,421

c. Hasil perhitungan grafik statistika untuk menghitung pola amplitudo

J	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Year	Month	Day	Hour	H 0.022	Z 0.022	H 0.012	Z 0.012	Z/H 0.022	Z/H 0.012	STD	MoV_Ave STD +	STD -							Jam		
2	2021	4	1	1	2,703	-5,105	8,863	4,994	-1,888	0,563		1,05947	0,565	1,62247	-0,49647		1,08007			01/04/2021 1:00	#####	44562,04167
3	2021	4	1	2	6,435	-0,618	5,859	4,017	-0,096	0,686		0,36445	1,41293	-0,85932						01/04/2021 2:00	45096	05/08/2024 1:00
4	2021	4	1	3	6,129	-0,019	6,713	-1,181	-0,005	-0,136		0,33232	1,36177	-0,72717						01/04/2021 3:00	45078	45509,04167
5	2021	4	1	4	5,621	-4,182	8,555	7,081	-0,744	0,828		0,39433	1,4438	-0,67514						01/04/2021 4:00	45054	
6	2021	4	1	5	4,283	0,671	8,576	0,663	0,157	0,077		0,32888	1,38835	-0,7306						01/04/2021 5:00	45082	
7	2021	4	1	6	6,08	1,894	11,752	3,272	0,234	0,278		0,36486	1,42433	-0,69461						01/04/2021 6:00	45120	
8	2021	4	1	7	-1,759	-2,806	7,852	5,653	1,595	0,72		0,37933	1,4388	-0,68014						01/04/2021 7:00	45120	
9	2021	4	1	8	0,72	-1,76	6,754	5,015	-2,444	0,743		0,3111	1,37067	-0,74827						01/04/2021 8:00	45120	
10	2021	4	1	9	1,545	0,469	2,059	-0,795	0,348	-0,366		0,20325	1,26172	-0,85621						01/04/2021 9:00	45292	
11	2021	4	1	10	4,535	-0,095	7,501	3,578	-0,021	0,477		0,39967	1,45914	-0,6598						01/04/2021 10:00	45768	
12	2021	4	1	11	-0,826	-5,548	1,695	0,88	6,717	0,519		0,361	1,42047	-0,69847						01/04/2021 11:00	45764	
13	2021	4	1	12	-5,371	-4,222	9,986	2,032	0,786	0,203		0,203	1,26247	-0,85647						01/04/2021 12:00	45768	
14	2021	4	1	13	0,775	-4,067	6,285	-0,992	-0,245	-0,158		0,25712	1,31659	-0,80235						01/04/2021 13:00	45782	
15	2021	4	1	14	1,537	0,8	3,86	1,442	0,521	0,374		0,28306	1,34253	-0,77641						01/04/2021 14:00	45785	
16	2021	4	1	15	-1,613	-2,947	3,004	-1,551	1,828	-0,516		0,277	1,35647	-0,78247						01/04/2021 15:00	45792	
17	2021	4	1	16	-1,823	-10,947	5,927	1,397	6	0,236		0,33364	1,39311	-0,72583						01/04/2021 16:00	45789	
18	2021	4	1	17	1,5	-2,212	4,158	-0,263	-1,474	-0,063		0,34115	1,40062	-0,71832						01/04/2021 17:00	45796	
19	2021	4	1	18	3,423	-5,389	8,048	-2,903	-1,574	-0,361		0,37483	1,4343	-0,68464						01/04/2021 18:00	45792	
20	2021	4	1	19	-2,265	-0,863	10,692	4,504	0,535	0,421		0,44173	1,5012	-0,61774						01/04/2021 19:00		
21	2021	4	1	20	7,059	-0,047	9,731	8,22	-0,007	0,845		0,4438	1,50327	-0,61567						01/04/2021 20:00		
22	2021	4	1	21	5,381	-3,466	8,085	-1,239	-0,644	-0,153		0,39922	1,45869	-0,66025						01/04/2021 21:00		
23	2021	4	1	22	0,525	-0,274	11,364	2,485	-0,522	0,219		0,48825	1,52772	-0,59122						01/04/2021 22:00		
24	2021	4	1	23	2,453	-2,193	6,986	3,357	-0,894	0,48		0,50286	1,56333	-0,55561						01/04/2021 23:00		
25	2021	4	1	24	2,416	-3,91	7,204	2,764	-1,618	0,379		0,50783	1,5673	-0,55164						02/04/2021 0:00		
26	2021	4	2	1	2,275	-2,827	5,056	3,441	-1,243	0,681		0,5336	1,59307	-0,52587						02/04/2021 1:00		
27	2021	4	2	2	4,156	-0,81	2,659	1,373	-0,195	0,517		0,49675	1,55622	-0,56272						02/04/2021 2:00		
28	2021	4	2	3	-0,932	-0,6	6,969	2,049	0,644	0,294		0,49	1,54947	-0,56947						02/04/2021 3:00		
29	2021	4	2	4	-0,121	-2,609	9,876	6,471	21,508	0,649		0,588	1,64747	-0,47147						02/04/2021 4:00		

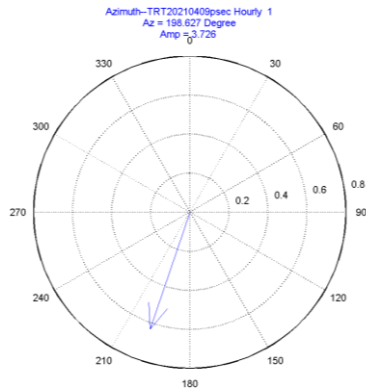
d. Tampilan grafik data polarisasi rasio sesuai laporan senin dan kamis



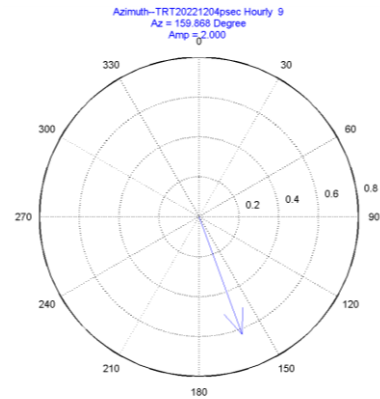
e. Tampilan monitoring laporan dari hasil data geomagnetik senin dan kamis

A	B	C	D	E	F	G
LAPORAN MONITORING						
PREKURSOR GEMPABUMI MENGGUNAKAN DATA MAGNET BUMI						
WILAYAH JAWA TIMUR April 2021						
Anomali : 08042021 108.00 N/B	Anomali : 08042021 121.00 N/B	Anomali : 08042021 104.00 N/B	Anomali : 08042021 108.00 N/B	Anomali : 08042021 108.00 N/B	Anomali : 08042021 108.00 N/B	Anomali : 08042021 108.00 N/B
Amplitudo : 2.026 TIT	Amplitudo : 4.070 TIT	Amplitudo : 02.071 TIT	Amplitudo : 2.085 TIT	Amplitudo : 3.726 TIT	Amplitudo : 5.941 TIT	Amplitudo : 5.941 TIT
Azmuth : 221.007 °	Azmuth : 264.791 °	Azmuth : 210.872 °	Azmuth : 210.535 °	Azmuth : 88.527 °	Azmuth : 318.979 °	Azmuth : 318.979 °
Flenjang : 08042021 - 10842021	Flenjang : 08042021 - 10842021	Flenjang : 08042021 - 10842021	Flenjang : 08042021 - 10842021	Flenjang : 08042021 - 10842021	Flenjang : 08042021 - 10842021	Flenjang : 08042021 - 10842021
Magnitudo : 8.2 ± 0.2	Magnitudo : 8.3 ± 0.2	Magnitudo : 10.2 ± 0.2	Magnitudo : 8.2 ± 0.2	Magnitudo : 8.3 ± 0.2	Magnitudo : 8.3 ± 0.2	Magnitudo : 8.3 ± 0.2
Lokasi : Meliputi Sejar Selatan Jatin dan area yang daerah yang daerah	Lokasi : Meliputi Sejar Selatan Jatin dan area yang daerah yang daerah	Lokasi : Meliputi Sejar Selatan Jatin dan area yang daerah yang daerah	Lokasi : Meliputi Sejar Selatan Jatin dan area yang daerah yang daerah	Lokasi : Meliputi Sejar Selatan Jatin dan area yang daerah yang daerah	Lokasi : Meliputi Sejar Selatan Jatin dan area yang daerah yang daerah	Lokasi : Meliputi Sejar Selatan Jatin dan area yang daerah yang daerah
Dampak : Kab.Bkr, Kota Blora, Kota Blora	Dampak : Kab.Ponorogo, Kab. Trenggah, Kota Blora	Dampak : Kab.Bkr, Kab. Trenggah, Kota Blora	Dampak : Kab.Bkr, Kab. Blora, Kota Blora	Dampak : Kab.Bkr, Kab. Blora, Kota Blora	Dampak : Kab.Bkr, Kab. Blora, Kota Blora	Dampak : Kab.Bkr, Kab. Blora, Kota Blora

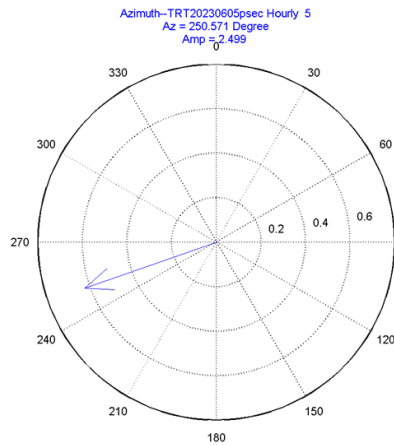
f. Hasil Arah Azimuth Anomali Prekursor Gempa



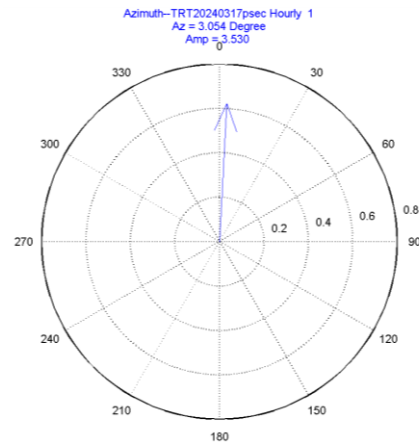
a. Anomali 09 April 2021



b. Anomali 04 Desember 2022

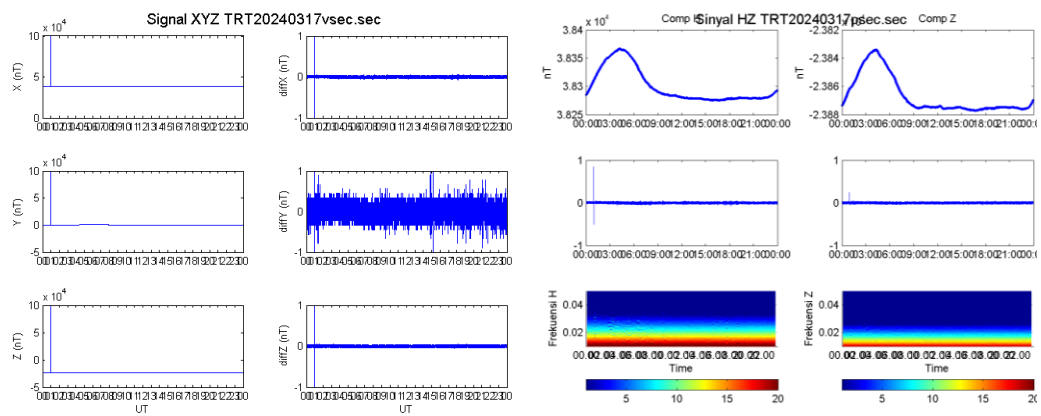


c. Anomali 05 Juli 2023

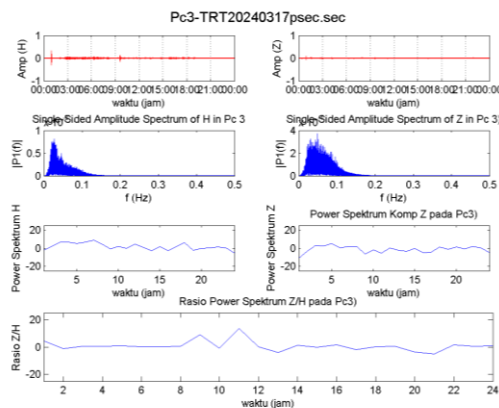


d. Anomali 2x pada 17 Maret 2024

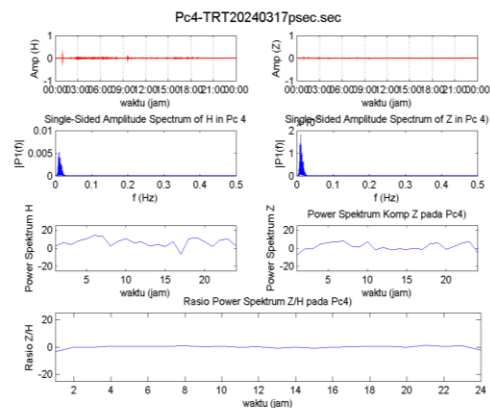
Gambar 5. Hasil olah rekaman frekuensi olah data magnet prekursor



a. Contoh Grafik Raw data geomagnet sensor Tretes Pasuruan



b. Contoh Grafik Frekuensi dari hasil olah data geomagnet sensor Tretes Pasuruan



c. Contoh Grafik data sinyal continue 3 untuk penentuan waktu

d. Contoh Grafik data sinyal continue 4 untuk penentuan waktu

Gambar 6. Hasil Prakiraan Gempa dengan Event Gempa

No.	Parameter	Prakiraan	Kejadian Gempabumi
1	Waktu	Anomali : 09-04-2021, 01:00 UTC / 08.00 WIB Rentang : 06 Apr – 10 Apr 2021	14.00.15 WIB 10 Apr 2021
2	Lokasi	Meliputi Zona Subduksi Selatan Jawa atau sesuai daerah yang diarsir	8.5707 LS 112.5054 BT, Kedalaman 67 km, 45km Barat Daya Malang
3	Magnitudo	5.3 ± 0.2	6.0
4	Dampak	Dirasakan di Kab. Blitar, Kota Blitar, Kab. Malang	Dirasakan di Kab. Malang, Sumberpucung, Gondanglegi, Dampit, Kepanjen, Surabaya
5	Keterangan	Tepat (Single station dari TRT)	

a. Hasil Tahun 2021

No.	Parameter	Prakiraan	Kejadian Gempabumi
1	Waktu	Anomali : 04-12-2022, 09:00 UTC / 16.00 WIB Rentang : 03 Dec. – 08 Dec. 2022	13.07.48 WIB 06 Dec. 2022
2	Lokasi	Meliputi Zona Subduksi Selatan Jawa Timur atau sesuai daerah yang diarsir	10.7148 LS, 113.384 BT, Kedalaman 19.0 km, 269 km Barat Daya Kencong, Indonesia
3	Magnitudo	5.2 ± 0.2	5.9
4	Dampak	Dirasakan di Kab. Lumajang, kab. Malang IV MMI, Kab. Banyuwangi III MMI	Dirasakan di Gambiran, Muncar, Genteng dan Denpasar
5	Keterangan	Tepat (Single station dari TRT)	

b. Hasil Tahun 2022

No.	Parameter	Prakiraan	Kejadian Gempabumi
1	Waktu	Anomali : 05-06-2023, 05:00 UTC / 12.00 WIB Rentang : 02 Juni – 06 Juni 2023	24.04.55 WIB 2023-06-07 17:04:55 (UTC)
2	Lokasi	Meliputi Zona Subduksi Selatan Jawa Timur atau sesuai daerah yang diarsir	9.2864°LS 110.6825°BT Depth 18.0 km, 146 km Wonosari, Indonesia
3	Magnitudo	5.2 ± 0.2	5.6
4	Dampak	Dirasakan di Kab. Pacitan, Kab. Ponorogo, Kab. Trenggalek V MMI	Dirasakan di Wonosari, Jatiroto, Pundong dan Yogyakarta
5	Keterangan	Tepat (Single station dari TRT)	

c. Hasil Tahun 2023

No.	Parameter	Prakiraan	Kejadian Gempabumi
1	Waktu	Anomali :17-03-2024, 01:00 UTC / 08.00 WIB	11.22.45 WIB
		Rentang : 16 Mar. – 22 Mar. 2024	22/03/ 2024
2	Lokasi	Meliputi Zona Subduksi Selatan Jawa atau sesuai daerah yang diarsir	5.816°LS 112.319°BT, Kedalaman 10.0 km, 117km Jawa, Paciran, Indonesia
3	Magnitudo	5.3 ± 0.2	5.6
4	Dampak	Dirasakan di Kab. Bangkalan, Kab. Gresik, Kab. Lamongan IV MMI	Dirasakan di Tuban, Paciran, Bangkalan dan Surabaya
5	Keterangan	Tepat (Single station dari TRT)	

d. Hasil Tahun 2024

No.	Parameter	Prakiraan	Kejadian Gempabumi
1	Waktu	Anomali : 17-03-2024, 01:00 UTC / 08.00 WIB	15.52.58 WIB
		Rentang : 15 Mar. – 22 Mar. 2024	22/03/ 2024
2	Lokasi	Meliputi Zona Subduksi Selatan Jawa atau sesuai daerah yang diarsir	5.875 LS, 112.365 BT, Kedalaman, 9,5.0 km, 110km Jawa, Paciran, Indonesia
3	Magnitudo	5.3 ± 0.2	6.4
4	Dampak	Dirasakan di Kab. Lamongan, kab. Gresik, Kab.Bangkalan IV MMI	Dirasakan di Paciran, Tuban, Bangkalan dan Surabaya
5	Keterangan	Tepat (Single station dari TRT)	

Lampiran 2 Data Laporan Monitoring Prekursor Sensor Tretes

No	Anomali	Amp litudo	Azi mutho	Rentang	Mw	Lokasi	Dampak	Ket.	Status
1	08/04/20 21/06.00 WIB	2.90 5 TRT	210. 535o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.2± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Blitar,Kab. Malang, Kota Blitar	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2023	Tidak Tervali dasi
2	09/04/20 21/08.00 WIB	3.72 6 TRT	198. 627 o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.3± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Blitar,Kab. Malang, Kota Blitar IV MMI	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2023	Tervali dasi
3	09/04/20 21/19.00 WIB	5,94 1 TRT	319. 979 o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.3 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Rembang, Kab. Tuban,Kab. Blora	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2023	Tidak Tervali dasi
4	09/04/20 21/20.00 WIB	5.94 1 TRT	240. 716 o	08/04/2021 - 11/04/2021	5.5± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Trenggalek ,Kab. Pacitan,Kab. Ponorogo	Masih dimonitor sampai 12/05/ 2022	Tidak Tervali dasi
5	04/12/20 22 /16.00 WIB	2.00 0TR T	159. 868 o	04/12/2022 - 07/12/2022	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar timur jatin dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Lumajang IV MMI, Kab. Malang, Kab. Banyuwangi III MMI	Masih dimonitor Sampai 03/01/ 2023	Tervali dasi
6	04/12/20 22 /19.00 WIB, 12 utc	2.38 7 TRT	316. 414 o	04/12/2022 - 07/12/2022	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar utara jatin dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.rembang V MMI, Kab. Tuban, Kab. Blora IV MMI	Masih dimonitor Sampai 03/01/ 2023	Tidak Tervali dasi
7	05/12/20 22 /08.00 WIB, 01 UTC	3.66 9TR T	184. 720 o	05/12/2022 - 07/12/2022	5.3 ± 0.2	Meliputi Sesar selatan jatin dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Blitar IV MMI, Kab Malang.	Masih dimonitor Sampai 04/01/ 2023	Tidak Tervali dasi
8	05/12/20 22/04.00 WIB, 21 UTC	58.6 53T RT	52.4 42 o	05/12/2022 - 07/12/2022	10.1 ± 0.2	Meliputi Sesar dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Pamekasan VII MMI, Kab. Sampang, Kab. Sumenep	Masih dimonitor Sampai 04/01/ 2023	Tidak Tervali dasi
9	05/12/20 22 /06.00 WIB, 23 UTC	2.56 4 TRT	233. 897 o	05/12/2022 - 07/12/2022	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar selatan jatin dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Trenggalek V MMI, Kab. Tulungagung, Kab. Wonogiri IV MMI	Masih dimonitor Sampai 04/01/ 2023	Tidak Tervali dasi
10	06/12/20 22 /08.00 WIB, 01 utc	2.13 5 TRT	260. 964 o	06/12/2022 - 07/12/2022	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar barat jatin dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Ponorogo VI MMI, Kab. Madiun V MMI, dan Kota Madiun	Masih dimonitor Sampai 05/01/ 2023	Tidak Tervali dasi
11	05/06/20 23 10/00 WIB,03u tc	2.03 1 TRT	137. 217 o	05/06/2023 - 07/06/2023	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang Daerah yang diarsir	Kab.Bondowos o,Kab. Jember,Kab. Lumajang	Masih dimonitor sampai07/07/ 2023	Tidak Tervali dasi
12	05/06/20 23 /12.00 WIB, 05 utc	2.49 9 TRT	250. 571 o	05/06/2023 - 07/06/2023	5.2± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang Daerah yang diarsir	Kab. Pacitan,Kab. Ponorogo,Kab. Trenggalek	Masih dimonitor sampai05/07/ 2023	Tervali dasi
13	05/06/20 23 /18.00 WIB,11u tc	28.7 95 TRT	268. 186 o	05/06/2023 - 07/06/2023	7.5 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang Daerah yang diarsir	Kab. Ponorogo,Kab. Madiun,Kab. Magetan	Masih dimonitor sampai07/07/ 2023	Tidak Tervali dasi
14	06/06/20 23 /24.00 WIB,17u tc	5.11 3TR T	118. 559 o	05/06/2023 - 07/06/2023	5.4± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang Daerah yang diarsir	Kab. Jember,Kab. Bondowoso,Ka b. Probolinggo	Masih dimonitor sampai07/07/ 2023	Tidak Tervali dasi

No	Anomali	Amp litudo	Azi mutho	Rentang	Mw	Lokasi	Dampak	Ket.	Status
15	07/06/2023 08.00 WIB, 01utc	2.85 8TR T	206. 473 o	05/06/2023 - 07/06/2023	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang Daerah yang diarsir	Kab. Malang, Kab. Blitar, Kota Blitar	Masih dimonitor sampai 07/07/2023	Tidak Tervali dasi
16	17/03/2024 08.00 WIB, 01utc	3.53 0 TRT	3.05 4 o	14/03/2024 - 18/03/2024	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Bangkalan, Gresik, Lamongan IV MMI	Masih dimonitor sampai 17/04/2024	Tervali dasi
17	18/02/2024 16.00 WIB	2.23 3 TRT	160, 843o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Lumajang IV MMI, Kab. Malang IV MMI, Kota Batu III MMI	Masih dimonitor sampai 19/03/2024	Tidak Tervali dasi
18	18/02/2024 21.00 WIB	89.1 01 TRT	268, 699o	01/02/2024 - 30/02/2024	12,8 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Blora VI MMI, Kab. Karanganyar VI MMI, Kab. Sragen VI MMI	Masih dimonitor sampai 19/03/2024	Tidak Tervali dasi
19	18/02/2024 05.00 WIB	5.14 5 TRT	276, 280o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.4 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kota Madiun VI MMI, Kab. Magetan VI MMI, Kab. Karanganyar V MMI	Masih dimonitor sampai 19/03/2024	Tidak Tervali dasi
20	18/02/2024 16.00 WIB	2.23 3TR T	160, 843o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Lumajang IV MMI, Kab. Malang IV MMI, Kota Batu III MMI	Masih dimonitor sampai 19/03/2024	Tidak Tervali dasi
21	18/02/2024 21.00 WIB	89.1 01 TRT	268, 699 o	01/02/2024 - 30/02/2024	12,8 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Blora VI MMI, Kab. Karanganyar VI MMI, Kab. Sragen VI MMI	Masih dimonitor sampai 19/03/2024	Tidak Tervali dasi
22	18/02/2024/05.00 WIB	5.14 5 TRT	276, 280o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.4 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kota Madiun VI MMI, Kab. Magetan VI MMI, Kab. Karanganyar V MMI	Masih dimonitor sampai 19/03/2024	Tidak Tervali dasi
23	18/02/2024 03.00 WIB	2.78 4 TRT	214, 468o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.2 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Blitar IV MMI, Kota Blitar IV MMI, Kota Kediri IV MMI	Masih dimonitor sampai 18/03/2024	Tidak Tervali dasi
24	19/02/2024 08.00 WIB	7.95 4 TRT	252, 804o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.7 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Trenggalek VI MMI, Kab. Wonogiri V MMI, Kab. Madiun V MMI	Masih dimonitor sampai 20/03/2024	Tidak Tervali dasi
25	19/02/2024 18.00 WIB	4.92 2TR T	255, 541o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.4 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Ponorogo VI MMI, Kab. Wonogiri V MMI, Kab. Madiun V MMI	Masih dimonitor sampai 20/03/2024	Tidak Tervali dasi
26	20/02/2024 00.00 WIB	4.51 8TR T	239, 524o	01/02/2024 - 30/02/2024	5.4 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab. Trenggalek VI MMI, Kab. Tulungagung V MMI, Kab. Karanganyar IV MMI	Masih dimonitor sampai 21/03/2024	Tidak Tervali dasi

No	Anomali	Amp litudo	Azi muth	Rentang	Mw	Lokasi	Dampak	Ket.	Status
27	20/02/20 24/02.00 WIB	8.67 1 TRT	179, 080o	01/02/2024 - 30/02/2024	5,7± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kota Batu IV MMI, Kab.Blitar IV MMI, Kota Blitar IV MMI	Masih dimonitor sampai 21/03/ 2024	Tidak Tervali dasi
28	21/02/20 24/10.00 WIB	2.02 5TR T	181, 772o	01/02/2024 - 30/02/2024	5,2± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Malang IV MMI, Kota Batu III MMI, Kab.Blitar III MMI	Masih dimonitor sampai 22/03/ 2024	Tidak Tervali dasi
29	21/02/20 24/05.00 WIB	10.7 26T RT	274, 189o	01/02/2024 - 30/02/2024	5,9± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Madiun VI MMI, KotaMadiun VI MMI, Kab.Magetan VI MMI	Masih dimonitor sampai 22/03/ 2024	Tidak Tervali dasi
30	21/02/20 24/06.00 WIB	3.09 3 TRT	227, 865o	01/02/2024 - 30/02/2024	5,3 ± 0.2	Meliputi Sesar Selatan Jatim dan atau yang daerah yang diarsir	Kab.Trenggalek V MMI, Kab.Blitar IV MMI, Kota Blitar IV MMI	Masih dimonitor sampai 22/03/ 2024	Tidak Tervali dasi



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341) 551354, Fax: (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 210604110026
Nama : NADILA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : AHMAD LUTHFIN, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : AHMAD ABTOKHI, M.Pd
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Identifikasi Anomali Sinyal ULF (Ultra Low Frequency) Sebagai Prekursor Gempabumi yang Bersifat Merusak di Wilayah Selatan Jawa Timur

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	15 Oktober 2024	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi Pengajuan Judul Skripsi	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	28 November 2024	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi Bab 1,2 dan 3	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	27 Mei 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	ACC Bab 1,2 dan 3	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	27 Mei 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi olah data selama di BMKG Pasuruan dan persiapan Komprehensif	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	17 Juli 2025	AHMAD ABTOKHI, M.Pd	Konsultasi Integrasi Agama Bab 1,2, dan 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	21 Juli 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi setelah selesai penelitian BMKG Pasuruan	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	22 Juli 2025	AHMAD ABTOKHI, M.Pd	Konsultasi Integrasi yang sudah selesai	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	22 Juli 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi Hasil Data Bab 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	24 Juli 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi Sebelum Presentasi di Kantor BMKG Pasuruan	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	31 Juli 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi Hasil dan Pembahasan Bab 4	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

AHMAD ABTOKHI, M.Pd

Malang, 18 Agustus 2025
Dosen Pembimbing 1

AHMAD LUTHFIN, M.Si

