TUGAS AKHIR – RF 184838

# Analisis Uji Respons Stasiun Pengukuran Magnetik Harian Terhadap Hasil Pemantauan Prekursor Gempa Bumi Di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam Selama Tahun 2019 (Studi Kasus: Stasiun Pengukuran SBG, MLB, GSI)

Raulia Reno Cahyaningtyas
NRP. 03411640000063

**Dosen Pembimbing**
Wien Lestari, S.T, M.T
NIP. 19811002 20212 2 003

Mariyanto, S.Si., M.T
NIP. 19912017 1 1044

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2020

TUGAS AKHIR – RF 184838

# Analisis Uji Respons Stasiun Pengukuran Magnetik Harian Terhadap Hasil Pemantauan Prekursor Gempa Bumi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam Selama Tahun 2019 (Studi Kasus: Stasiun Pengukuran SBG, MLB, GSI)

Raulia Reno Cahyaningtyas
NRP. 03411640000063

**Dosen Pembimbing**
Wien Lestari, S.T, M.T
NIP. 19811002 201212 2 003

Mariyanto, S.Si., M.T
NIP. 19912017 1 1044

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2020

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

TUGAS AKHIR – RF 184838

# Analysis of Daily Magnetic Measurement Station Response to the Results of earthquake precursors monitoring in Nanggroe Aceh Darussalam during 2019 (Case Study: SBG, MLB, GSI Measurement Station)

Raulia Reno Cahyaningtyas
NRP. 03411640000063

**Dosen Pembimbing**
Wien Lestari, S.T, M.T
NIP. 19811002 201212 2 003

Mariyanto, S.Si., M.T
NIP. 19912017 1 1044

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2020

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

| | |
|---|---|
| Nama | : Raulia Reno Cahyaningtyas |
| NRP | : 03411640000044 |
| Departemen | : Teknik Geofisika |
| Judul Tugas Akhir | : Analisa Uji Respons Stasiun Pengukuran Magnetik Harian terhadap hasil pemantauan prekursor gempa bumi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam selama tahun 2019 (Studi Kasus: Stasiun Pengukuran SBG, MLB, GSI) |

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 Juli 2020

1. .....
   **Wien Lestari, S.T., M.T.** (Pembimbing I)
   NIP. 19811002 201212 2 003

2. .....
   **Mariyanto, S.Si., M.T.** (Pembimbing II)
   NIP. 19911002 201711 0 044

3. .....
   **Juan Pandu G.N.R, S.Si, M.T** (Penguji I)
   NIP. 19890612 201504 1 003

4. ..... .....
   **Dr. Amien Widodo, Ir., MS** (Penguji II)
   NIP. 19591010 198803 1 001

Menyetujui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si.**
NIP. 19760123 200003 1 001

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan **"Analisa Uji Respons Stasiun Pengukuran Magnetik Harian terhadap hasil pemantauan prekursor gempa bumi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam selama tahun 2019 (Studi Kasus: Stasiun Pengukuran SBG, MLB, GSI)"** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahanbahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 22 Juni 2020

Raulia Reno Cahyaningtyas
NRP 03411640000063

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

**Analisa Uji Respons Stasiun Pengukuran Magnetik Harian terhadap hasil pemantauan prekursor gempa bumi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam selama tahun 2019 (Studi Kasus: Stasiun Pengukuran SBG, MLB, GSI)**

**Nama : Raulia Reno Cahyaningtyas**
**NRP : 03411640000063**
**Departemen : Teknik Geofisika**
**Dosen Pembimbing I : Wien Lestari S.T, M.T**
**Dosen Pembimbing II : Mariyanto, S.Si, M.T**

# ABSTRAK

Analisa uji respons stasiun pengukuran magnetik harian dilakukan untuk mengetahui seberapa baik data yang dihasilkan oleh stasiun untuk dipergunakan dalam perngidentifikasian prekursor gempabumi. Identifikasi anomali prekursor pra-gempabumi dilakukan untuk mempersiapkan wilayah sebelum terjadinya gempabumi tersebut. Stasiun yang akan diuji adalah stasiun pengukuran SBG, MLB dan GSI dengan gempa-gempa yang berlokasi pada provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Proses Pengolahan Data terdiri dari differensiasi data *raw*, *Fast Fourier Transform*, *Bandpass Filtering*, Polarisasi *power* rasio Z/H yang terdiri dari *Moving Average* dan *Standar Deviasi* maksimum dan minimum sebelum akhirnya menentukan waktu onset yang akan dibandingkan dengan data *Disturbance Storm Time Index (Dst.)* dan juga arah azimuth anomali gempa. Dari 42 peristiwa gempa yang dicatat, stasiun pengukuran SBG dan MLB memiliki performa keberhasilan sebesar 81% dalam merekam data yang berisi informasi anomali prekursor yang valid sementara itu stasiun pengukuran GSI memiliki performa keberhasilan sebesar 77%. Sementara itu diketahui pula bahwa setiap stasiun memiliki kecenderungan masing-masing yang kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi alat dan juga kondisi daerah sekitar stasiun pengukuran. Hasil penelitian juga mengemukakan bahwa semakin jauh jarak gempabumi menuju stasiun pengukuran maka kemungkinan besar pula anomaly prekursor gempabumi tidak akan terekam secara valid.

**Kata kunci**: stasiun , anomali, prekursor, magnetik, gempabumi

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

**Analysis of Daily Magnetic Measurement Station Response to the Results of earthquake precursors monitoring in Nanggroe Aceh Darussalam during 2019 (Case Study: SBG, MLB, GSI Measurement Station)**

**Name : Raulia Reno Cahyaningtyas**
**Student ID : 03411640000063**
**Department : Teknik Geofisika**
**Advisor I : Wien Lestari S.T, M.T**
**Advisor II : Mariyanto, S.Si, M.T**

# ABSTRACT

Daily magnetic station response test analysis is performed to find out how well the data generated by the station is used to identify earthquake precursors. Identification of pre-earthquake precursor anomalies was carried out to prepare the area before the earthquake occurred. The stations to be tested are SBG, MLB and GSI measurement stations with earthquakes located in Nanggroe Aceh Darussalam province. The data processing consists of raw data differentiation, Fast Fourier Transform, Bandpass Filtering, Z / H power ratio polarization which consists of moving average and maximum and minimum standard deviations before finally determining the onset time that will be compared with the Disturbance Storm Time Index data and also the anomalous earthquake azimuth direction. Of the 42 earthquake events recorded, the SBG and MLB measurement stations had a 81% success performance in recording data containing valid precursor anomaly information while the GSI measuring station had a 77% success performance. Meanwhile it is also known that each station has its own tendency which may be influenced by the condition of the tool and also the condition of the area around the measurement station. The results of the study also suggest that the farther the distance of the earthquake to the measurement station, the greater the possibility of an earthquake precursor anomaly will not be recorded validly.

**Kata kunci**: Station, Anomaly, Precursors, magnetic, earthquake

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul "Analisa Uji Respons Stasiun Pengukuran Magnetik Harian terhadap hasil pemantauan prekursor gempa bumi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam selama tahun 2019 (Studi Kasus: Stasiun Pengukuran SBG, MLB, GSI)" dengan baik. Pelaksanaan dan penyusunan lapran tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Tuhan yang maha esa yang telah memberikan Kesehatan dan kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir
2. Papa, mama, om, tante, mbah dan eyang yang selalu memberikan dukungan secara motivasi, fasilitas dan doa
3. Wien Lestari S.T, M.T dan Mariyanto, S.Si, M.T selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan masukan, arahan, kritikan dan solusi selama pengerjaan tugas akhir dan perkuliahan
4. Dr. Suaidi Ahadi, S.T., M.T. dan segenap karyawan Sub-bidang Geofisika Potensial dan Tanda Waktu Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Jakarta yang sudah membimbing, memberikan masukan dan arahan selama pengerjaan tugas akhir
5. Segenap dosen dan tenaga Pendidikan Departemen Teknik Geofisika ITS atas bimbingan dan bantuan selama perkuliahan
6. Ade Putri Ramadhany yang selalu menemani penulis dalam keluh kesah pengerjaan tugas akhir
7. Kristo (UGM), Stephanie (UB) dan kak Sabrina (UGM) yang menjadi teman diskusi dan keluh kesah selama pengerjaan tugas akhir.
8. Maya Adinda Olivia, Adjeng Yalastri serta teman-teman TG5 atas semangat dan dukungannya selama perkuliahan

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai pembelajaran bagi penulis dan khalayak umum. Semoga tugas akhir ini membawa banyak manfaat bagi penulis dan juga pembaca.

Surabaya, 22 Juni 2020

Penulis

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# DAFTAR ISI

**HALAMAN PENGESAHAN** ..... Error! Bookmark not defined.
**PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR** ..... **vii**
**ABSTRAK** ..... **ix**
**ABSTRACT** ..... **xi**
**KATA PENGANTAR** ..... **xiii**
**DAFTAR ISI** ..... **xv**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **xvii**
**DAFTAR TABEL** ..... **xx**
**BAB I PENDAHULUAN** ..... **1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 2
1.3 Batasan Masalah ..... 3
1.4 Tujuan Penelitian ..... 3
1.5 Manfaat ..... 3
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... **5**
2.1 Dasar Teori ..... 5
2.1.1 Geologi Regional ..... 5
2.1.2 Teori Gempa Bumi ..... 8
2.1.3 Medan Magnet Bumi ..... 9
2.1.4 Komponen, Dasar Perhitungan, dan Satuan Medan Magnet Bumi. 10
2.1.5. Fisis Sumber Emisi Seismo-Electromagnetik (SEM) ..... 11
2.1.6 Disturbance Storm Time (DST) Index ..... 12
2.2 Penelitian Sebelumnya ..... 13
2.2.1 Prekursor Gempa Bumi ..... 13
2.2.2 Penentuan Onset dan Lead Time ..... 13
2.2.3 Perhitungan Azimuth ..... 13
2.2.4 Bandpass maksimal ..... 14
2.2.5 Menentukan Magnitudo ..... 15
2.2.6 Analisa anomali prekursor menggunakan TEC dan Radon ..... 15
**BAB III METODOLOGI** ..... **17**
3.1 Skema Kerja ..... 17

3.2 Peralatan dan Data ..... 20
3.2.1 Peralatan ..... 20
3.2.2 Data ..... 20
3.3 Langkah Kerja ..... 21
3.3.1 Tahap Persiapan ..... 21
3.3.2 Tahap Pengolahan ..... 21
3.3.3 Analisis Prekursor Gempabumi ..... 23
**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 25**
4.1 Hasil Pengolahan Kasus Gempa ..... 25
4.1.1 Gempabumi 29 Januari 2019 ..... 27
4.1.2 Gempabumi 13 Maret 2019 ..... 31
4.1.3 Gempabumi 26 Mei 2019 ..... 37
4.1.4 Gempabumi 10 Juli 2019 ..... 42
4.1.5 Gempabumi 7 Oktober 2019 ..... 48
4.1.6 Gempabumi 5 Desember 2019 ..... 53
4.2 Hasil Korelasi Kasus Gempa ..... 59
4.2.1 Persentasi Keberhasilan Pemantauan Prekursor Gempa ..... 59
4.2.2 Korelasi Antara Jarak Stasiun Ke Gempa Dengan Magnitudo Gempa 62
**BAB V KESIMPULAN ..... 66**
5.1 Kesimpulan ..... 66
5.2 Saran ..... 66
**DAFTAR PUSTAKA ..... 68**
**LAMPIRAN ..... 73**
**BIOGRAFI PENULIS ..... 188**

# DAFTAR GAMBAR

**Gambar 2. 1** Sesar semangko (Great Sumatran Fault), Sesar Mentawai dan juga Zona Megathrust (Milsom, 2005 dikutip dari Van Gorsel, 2018) ..... 5

**Gambar 2. 2** Perbedaan kecepatan pergerakan sesar Semanko antar segmen setiap tahun (Acocella et.al, 2018 dikutip dari Van Gorsel, 2018)..... 7

**Gambar 2. 3** Zona forearc Sumatra diantara sesar Mentawai dan Sesar Semangko dimana Zona Mentawai merupakan perbatasan pertemuan lempeng benua.(Van Gorsel, 2018)..... 8

**Gambar 2. 4** Komponen vektor medan magnet bumi (Adhikari, 2015)..... 10

**Gambar 2. 5** Mekanisme emisi ULF disekitar lokasi gempa (Hayakawa, 2018) ..... 11

**Gambar 4. 1** Peta daerah penelitian beserta persebaran gempa dan dan stasiun 26

**Gambar 4. 2** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 14 Januari 2019 dari stasiun pengukuran SBG..... 28

**Gambar 4. 3** Polarisasi power rasio pada tanggal 29 januari dari stasiun SBG ..... 28

**Gambar 4. 4** Grafik indeks Dst. Selama bulan januari 2019..... 30

**Gambar 4. 5** Polarisasi power rasio pada tanggal 29 januari dari stasiun MLB ..... 30

**Gambar 4. 6** Polarisasi power rasio pada tanggal 29 januari dari stasiun GSI 31

**Gambar 4. 7** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 9 Maret 2019 dari stasiun pengukuran SBG..... 32

**Gambar 4. 8** Polarisasi power rasio pada tanggal 13 Maret dari stasiun SBG 32

**Gambar 4. 9** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 23 februari 2019 dari stasiun pengukuran MLB ..... 33
**Gambar 4. 10** Polarisasi power rasio pada tanggal 13 Maret dari stasiun MLB ..... 34
**Gambar 4. 11** Grafik indeks Dst. Selama (a) bulan Februari 2019 (b) bulan Maret 2019 ..... 36
**Gambar 4. 12** Polarisasi power rasio pada tanggal 13 Maret dari stasiun GSI 37
**Gambar 4. 13** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 24 Mei 2019 dari stasiun pengukuran SBG ..... 38
**Gambar 4. 14** Polarisasi power rasio pada tanggal 26 Mei dari stasiun SBG . 38
**Gambar 4. 15** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 19 Mei 2019 dari stasiun pengukuran GSI ..... 39
**Gambar 4. 16** Polarisasi power rasio pada tanggal 26 Mei dari stasiun GSI... 40
**Gambar 4. 17** Grafik indeks Dst. Selama bulan mei 2019 ..... 42
**Gambar 4. 18** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 1 Juli 2019 dari stasiun pengukuran SBG..... 43
**Gambar 4. 19** Polarisasi power rasio pada tanggal 10 Juli dari stasiun SBG .. 43
Gambar 4. 20 Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 2 Juli 2019 dari stasiun pengukuran GSI ..... 44
**Gambar 4. 21** Polarisasi power rasio pada tanggal 10 Juli dari stasiun GSI ... 45
**Gambar 4. 22** Grafik indeks Dst. Selama bulan Juli 2019 ..... 47
**Gambar 4. 23** Polarisasi power rasio pada tanggal 10 Juli dari stasiun MLB . 47
**Gambar 4. 24** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 10 September 2019 dari stasiun pengukuran SBG ..... 48
**Gambar 4. 25** Polarisasi power rasio pada tanggal 7 Oktober dari stasiun SBG ..... 49

**Gambar 4. 26** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 30 September 2019 dari stasiun pengukuran MLB..... 50
**Gambar 4. 27** Polarisasi power rasio pada tanggal 7 oktober dari stasiun MLB ..... 50
**Gambar 4. 28** Grafik indeks Dst. Selama (a) bulan September 2019 (b) bulan oktober 2019..... 52
**Gambar 4. 29** Polarisasi power rasio pada tanggal 7 Oktober dari stasiun GSI ..... 53
**Gambar 4. 30** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 12 November 2019 dari stasiun pengukuran SBG..... 54
**Gambar 4. 31** Polarisasi power rasio pada tanggal 5 Desember dari stasiun SBG ..... 54
**Gambar 4. 32** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 22 November 2019 dari stasiun pengukuran MLB..... 55
**Gambar 4. 33** Polarisasi power rasio pada tanggal 5 Desember dari stasiun MLB ..... 56
**Gambar 4. 34** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 25 November 2019 dari stasiun pengukuran GSI..... 57
**Gambar 4. 35** Polarisasi power rasio pada tanggal 5 Desember dari stasiun GSI ..... 57
**Gambar 4. 36** Presentasi Keberhasilan Stasiun Pengukuran SBG ..... 60
**Gambar 4. 37** Presentasi Keberhasilan Stasiun Pengukuran MLB ..... 60
**Gambar 4. 38** Presentasi Keberhasilan Stasiun Pengukuran GSI ..... 61
**Gambar 4. 39** Grafik Korelasi Magnitudo Ke Jarak SBG..... 62
**Gambar 4. 40** Grafik Korelasi Magnitudo Ke Jarak MLB ..... 63
**Gambar 4. 41** Grafik Korelasi Magnitudo Ke Jarak GSI ..... 63

# DAFTAR TABEL

**Tabel 3. 1** Data yang digunakan dalam penelitian ..... 20

**Tabel 4. 1** Data Gempa..... 27
Tabel 4. 2 Data Hasil Identifikasi Prekursor Gempa Bumi ..... 59

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerutinan gempa yang terbanyak didunia, hal itu disebabkan oleh letak geografis Indonesia itu sendiri. Indonesia terletak tepat diatas pertemuan 3 lempeng tektonik mayor (lempeng pacific, indo-australia dan juga lempeng Eurasia) dan juga tergabung dalam satuan *pacific ring of fire*. *Pacific ring of fire* ialah daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudra Pasifik, daerah ini mencangkup sepanjang 40.000 Km dan membentang dari Selandia Baru sampai Amerika Selatan. Diketahui bahwa Sumatra merupakan salah satu pulau diIndonesia yang paling dipengaruhi oleh aktifitas tektonik, hal ini dapat dilihat dari adanya Sesar Semangko yang melintang sepanjang Sumatra dan juga Zona Subduksi yang berada disebelah barat Pulau Sumatra. Sepanjang sejarah Zona Subduksi telah menyebabkan beberapa gempa bumi seperti begitu pula sesar semangko yang merupakan sumber dari gempa seperti berikut ini. (McCaffrey, 2009)

Demi menanggulangi akibat negatif yang akan dihasilkan oleh hal itu, Indonesia mulai meneliti bagaimana cara agar gempa bumi dapat terdeteksi sebelum gempa akan terjadi, agar warga setempat dapat mempersiapkan diri dan menyelamatkan diri dari gempa yang akan terjadi dan meminimalisir kerugian baik materi ataupun nyawa yang terbuang dalam tragedi yang dapat dihindari (Kamogawa, 2006). Menurut beberapa penelitian, sudah dapat disetujui bahwa gelombang elektromagnetik yang terpancar dari aktivitas *microcracks* pada pergerakan lempeng atau sesar yang terjadi beberapa hari sebelum adanya gempa dapat menjadi rujukan untuk mengetahui informasi tentang gempa yang akan datang (Hayakawa, 2018). Gelombang elektromagnetik yang akan diobservasi hanya dapat dilihat dalam spektrum yang sangat kecil yaitu *Ultra-low Frequency* (ULF) , dikarenakan ketidak jelasan data jika diobservasi dalam spektrum frekuensi ELF (*Low Frequency*) atau VLF (*Very Low Frequency*) yang berakibatkan dari atenuasi yang sangat cepat terjadi ketika gelombang merambat menembus lapisan litosfer(Hayakawa, 2015). Dalam analisa prekursor sendiri menggunakan data geomagnetik digunakan metode analisis mengunakan hasil analisa waktu onset (waktu munculnya anomali) dan lead time (waktu dari onset hingga menuju event) dimana data dianalisa menggunakan trend Standar Deviasi (STD) demi menentukkan waktu anomali muncul (Ahadi et al., 2014a)

Di Indonesia sendiri, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) telah mengembangkan penelitian tentang prekursor gempa bumi menggunakan data magnet bumi dengan spektrum ULF. Dilakukan pengamatan harian data magnet bumi diseluruh stasiun pengukuran yang terletak diberbagai daerah diseluruh nusantara, dimana dari data akan ditemukan anomaly yang setelah diolah dapat menunjukkan informasi tentang gempa yang akan datang. Menurut Uyeda (2008), informasi gempa yang akan datang terdiri atas 3 komponen, yaitu kapan gempa tersebut akan datang, dimana gempa akan terjadi dan berapa besar kekuatan gempa yang akan terjadi. BMKG yang berkolaborasi dengan Kyushu University telah menghasilkan sistem prediksi gempa bumi, namun seperti halnya dengan semua penelitian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui karakteristik anomali ditempat spesifik.(Sokacana et al., 2019). Oleh sebab itu diperlukan penelitian secara terus menerus untuk memastikan kembali karakteristik anomali data geomagnetik yang dihasilkan dari emisi anomali elektromagnetik terutama diIndonesia. Pulau Sumatra sendiri memiliki stasiun pengukuran terlengkap diseluruh penjuru Indonesia untuk saat ini, dimana setiap provinsi dipulau Sumatra memiliki stasiun pengukuran yang terdedikasi untuk gempa yang disebabkan oleh 3 sumber gempa utama didalam pulau Sumatra (Zona Subduksi, Sesar Semangko dan Sesar Mentawai), namun diantara seluruh provinsi di Pulau Sumatra, Provinsi Nanggroe Aceh Darrussalam dinilai spesial dikarenakan sejarah provinsi tersebut dengan gempa dan tsunami yang menelan banyak korban, baik secara finansial maupun secara nyawa dan juga dikarenakan masih minimnya penelitian prekursor gempabumi menggunakan data magnetik yang menyoroti peristiwa gempabumi dalam provinsi tersebut, oleh sebab itu provinsi tersebut dipilih sebagai pusat penelitian dari tugas akhir.

Menurut Ahadi (2014), jarak maksimum pengukuran prekursor gempa bumi menggunakan data magnetik merupakan 400Km dari stasiun pengukuran menuju sumber gempa, disana beliau juga menyampaikan bahwa range optimum dalam memetakan area dimana memiliki potensial terjadi gempabumi adalah menarik 22,5 kearah kanan dan kiri dari sudut azimuthal yang sudah didapatkan hingga 400 bahkan 500km. oleh sabab itu penelitian juga akan memerhatikan faktor jarak gempa ke stasiun pengukuran.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Apakah seluruh gempa bumi yang terjadi di provinsi Nanggroe Aceh Darussalam memiliki anomali prekursor yang terekam?

2. Bagaimana pengaruh jarak antar stasiun pengukuran magnetik harian dan magnitudo gempa dengan keefektivitas pemantauan anomali prekursor?
3. Apakah gempa yang terekam dengan jarak maksimum pengamatan (400-500 km dari stasiun pengukuran) masih mengeluarkan anomali yang akan terekam oleh alat?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data harian dari stasiun pengukuran di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam dengan jarak maksimal 500 km dari stasiun pengukuran Sabang (SBG).
2. Anomali yang terekam karena sebab eksternal tidak akan diamati.
3. Data magnetik dianggap relevan untuk dianalsis jika ketersediaan data $\geq$ 70% dalam rentan 35 hari sebelum gempa terjadi.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui apakah seluruh gempa yang terjadi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam memiliki anomali prekursor yang terekam sebelum gempa terjadi
2. Untuk mengetahui hubungan antara jarak dan magnitudo terhadap keefektivitas pengamatan magnetik pada stasiun pengukuran magnetic
3. Untuk mencari tau apakah gempa yang terekam dengan jarak maksimum pengamatan (400-500km dari stasiun pengukuran) masih dapat terekam anomali prekursornya

## 1.5 Manfaat

Manfaat dari dilakukannya tugar akhir ini adalah:

1. Untuk mengoptimalisasikan identifikasi prekursor gempa bumi demi memaksimalkan akurasitas *earthquake early warning system* yang sudah diimplementasikan dalam BMKG Indonesia terutama pada pengolahan data dari stasiun pengukuran diseluruh indonesia

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

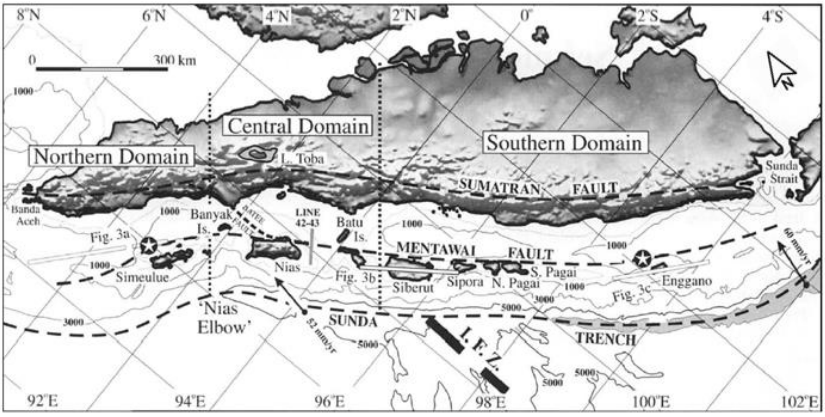
# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Dasar Teori

### 2.1.1 Geologi Regional

#### 2.1.1.1 Tektonik Pulau Sumatra

Pulau Sumatera dicirikan oleh tiga sistem tektonik. Berurutan dari barat ke timur adalah sebagai berikut: Zona Subduksi *oblique* dengan sudut penunjaman yang landai, Sesar Mentawai dan Zona Sesar Besar Sumatera. Zona subduksi di Pulau Sumatera, yang sering sekali menimbulkan gempa tektonik, memanjang membentang sampai ke Selat Sunda dan berlanjut hingga selatan Pulau Jawa. Subsuksi ini mendesak lempeng Eurasia dari bawah Samudera Hindia ke arah barat laut di Sumatera dan frontal ke utara terhadap Pulau Jawa, dengan kecepatan pergerakan yang bervariasi. Puluhan hingga ratusan tahun, dua lempeng itu saling menekan. Namun lempeng Indo-Australia dari selatan bergerak lebih aktif. Pergerakannya yang hanya beberapa millimeter hingga beberapa sentimeter per tahun ini memang tidak terasa oleh manusia. Karena dorongan lempeng Indo-Australia terhadap bagian utara Sumatera kecepatannya hanya 5,2 cm per tahun, sedangkan yang di bagian selatannya kecepatannya 6 cm per tahun. Pergerakan lempeng di daerah barat Sumatera yang miring posisinya ini lebih cepat dibandingkan dengan penyusupan lempeng di selatan Jawa (Van Gorsel, 2018).




**Gambar 2. 1** Sesar semangko (Great Sumatran Fault), Sesar Mentawai dan juga Zona Megathrust (Milsom, 2005 dikutip dari Van Gorsel, 2018)

#### 2.1.1.2 Zona Subduksi Sumatra

Zona subduksi yang terletak diarah barat Sumatra telah dipercaya oleh banyak peneliti sebagai bagian dari sabuk konvergen yang membentang dari Kawasan Himalayan sampai kearah filipina, membalut Indonesia bagian barat seperti gambar . zona subduksi ini adalah bagian dari Lempeng Indo-Australia yang bergerak kearah utara untuk menunjam Lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia sendiri merupakan sebuah Lempeng Samudra sedangkan Lempeng Eurasia merupakan sebuah Lempeng benua, perbedaan sifat antar lempeng tersebut membuat terjadinya subduksi dari Lempeng Indo-Australia yang memiliki densitas yang lebih kecil daripada Lempeng Eurasia.(Simoes et al., 2004)

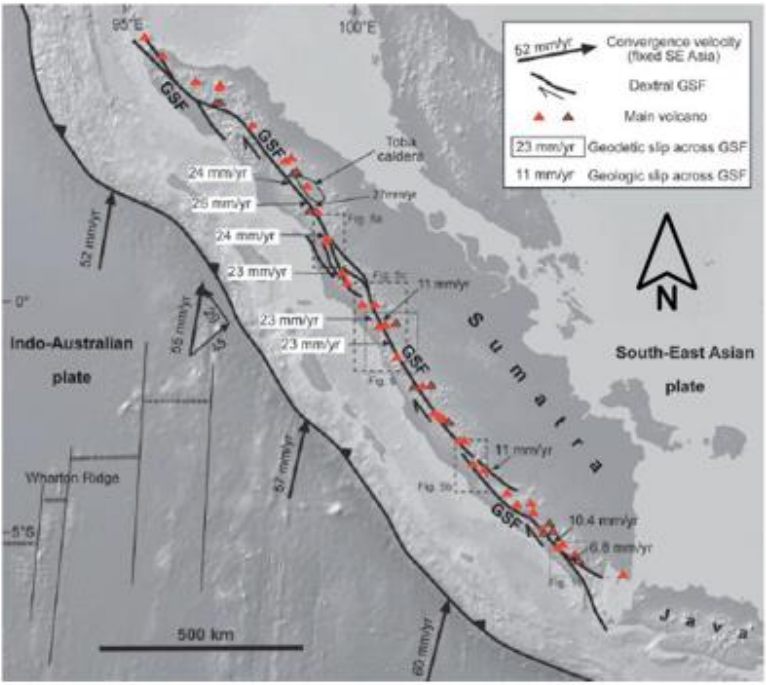
Walaupun begitu, penunjaman yang terjadi pada Lempeng Indo-Australia tidak benar-benar tegak lurus menunjam searah pergerakan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Hal itu dikarenakan pergerakan Lempeng Indo-Autralia yang cenderung bergerak kearah timurlaut sedangkan Lempeng Eurasia cenderung bergerak kearah tenggara, hal itulah yang menyebabkan Pulau Sumatra yang seakan dirobek mendatar yang dikenal dengan sesar semangko. Pergerakan Zona Subduksi Sumatra juga menghasilkan rangkaian busur pulau depan (forearc islands) yang bersifat non-vulkanik (seperti P.Nias, P.Siberut dan P.Enggano), rangkaian pegunungan Bukit Barisan yang memiliki jalur vulkanik ditengahnya dan juga sesar besar yang membelah pulau Sumatra dari Laut Andaman hingga Selat Sunday aitu Sesar Semangko.

Geomorfologi Pulau Sumatra juga terpengaruh oleh Zona Subduksi Sumatra. Adanya ketidak sama rataan arah penunjaman Lempeng Indo-Australia menyebabkan bagian barat Pulau Sumatra terangkat, sedangkan bagian timur relatif turun. Hal ini yang menyebabkan Pulau Sumatra bagian barat, yang dilewati oleh pegunungan Bukit Barisan, memiliki dataran pantai yang sempit dan terjal. Pulau Sumatra bagian timur yang lebih turun cenderung lebih mudah untuk terkena erosi, sehingga memiliki dataran pantai yang datar dan luas(McCaffrey, 2009).

#### 2.1.1.3 Sesar Semangko

Sesar Semangko merupakan sebuah sesar yang membentang sepanjang kurang lebih 1900 km, ditengah-tengah Pegunungan Bukit Barisan. Sesar ini merupakan sesar aktif yang awalnya diberi nama oleh Van Bemmelen pada tahun 1949 dan diberi kembali julukan *Great Sumatran Fault* oleh Westerveld pada tahun 1953. Zona sesar ini membentang sepanjang dua sistem tektonik, diantara batas selatan Laut Andaman hingga batas utara Selat Sunda.

Sesar Semangko terdiri dari beberapa segmen yang masing-masing memiliki Panjang yaitu 60-200 km, dimana ada pula beberapa danau dan cekungan yang terbentuk diantara segmen-segmen tersebut. Adapula menurut Bellier dan Sebrier (1994,1995) yang menyatakan bahwa kecepatan tunjaman sepanjang Sesar Semangko itu berbeda-beda, mulai dari yang terendah yaitu dibawah 10 milimeter pertahun disegmen yang berlokasi didekat Selat Sunda hingga diatas 40 milimeter pertahun disegmen yang berlokasi didekat Laut Andaman seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.2 dibawah. Namun ada beberapa penelitian yang membantah teori tersebut. (McCaffrey, 2009)

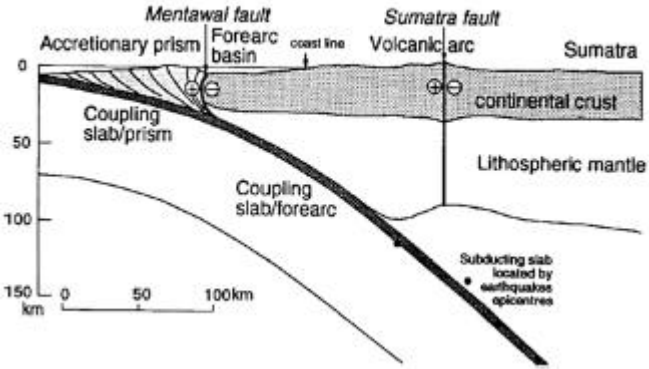



**Gambar 2. 2** Perbedaan kecepatan pergerakan sesar Semanko antar segmen setiap tahun (Acocella et.al, 2018 dikutip dari Van Gorsel, 2018)

### 2.1.1.4 Sesar Mentawai

Sesar Mentawai merupakan sesar yang berada dizona forearc Sumatra yang terbentuk akibat penjunjaman Sesar Semangko yang menbentang dari Baratdaya

hingga tenggara. Sesar semangko membentang sepanjang 600km tepat dilepas pantai bagian barat Sumatra.




**Gambar 2. 3** Zona forearc Sumatra diantara sesar Mentawai dan Sesar Semangko dimana Zona Mentawai merupakan perbatasan pertemuan lempeng benua.(Van Gorsel, 2018)

### 2.1.2 Teori Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi yang diakibatkan oleh pergerakan lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik, tentu saja gempa dapat disebabkan oleh banyak hal selain tektonik seperti gempa vulkanik atau gempa runtuh namun dalam kasus ini yang akan dibahas adalah gempa tektonik. Pergerakan secara spontan dilapisan batuan bawah permukaan menghasilkan energi yang dipancarkan kesegala arah berupa gelombang seismic, penjalaran gelombang seismik ini sendiri dipermukaan bumi adalah hal yang menyebabkan kerusakan yang signifikan terhadap masyarakat dan infrastruktur yang berdiri diatasnya. Gempa bumi tektonik cenderung terjadi dilapisan kulit bumi terluar yaitu litosfer yang terdiri atas lempeng-lempeng tektonik yang kaku dan terapung diatas batuan yang relative tidak kaku serta bergerak. Daerah pertemuan antara lempeng (plate margin) bisa berupa zona subduksi, pemekaran dasar samutra, pengangkatan benua dan banyak macam lainnya tergantung dengan masing-masing sifat lempeng yang saling membatasi satu sama lain.(Sunarjo, 2012)

Jika 2 lempeng bertemu dalam sebuah sesar, kedua sesar tersebut dapat bergerak seperti menjauhi, mendekati atau bergeser. Ketika pergerakan lempeng terhambat karena adanya perekatan makan akan terjadi pengumpulan energi yang berlansung terus menerus hingga pada suatu saat lokasi yang menempel

tersebut tidak dapat menahan energi yang dihasilkan dan akan melepaskan energi elastik dalam bentuk getaran, hal ini yang secara umum kita sebut dengan gempa bumi. Secara umum gempa bumi dapat diklasifikasikan berdasarkan kedalaman (hypocentre) dan kekuatan. Berdasarkan kedalamannya gempa bumi dapat diklasifikasikan sebagai berikut

1. Gempa bumi dangkal (shallow) kurang dari 70 km
2. Gempa bumi menengah (intermediate) kurang dari 300 km
3. Gempa bumi dalam (deep) lebih dari 300 km

Sedangkan berdasarkan kekuatannya atau magnitudonya dalam skala Richer (SR) gempa dapat dibedakan menjadi

1. Gempa bumi sangat besar M> 8SR
2. Gempa bumi besar M 7-8 SR
3. Gempa bumi merusak M 5-6 SR
4. Gempa bumi sedang M 4-5 SR
5. Gempa bumi kecil M 3-4 SR
6. Gempa bumi mikro 1-3 SR
7. Gempa bumi ultra mikro M<1 SR

### 2.1.3 Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi yang terekam pada sensor atau alat di permukaan bumi sejatinya bukanlah merupakan suatu medan magnet tunggal yang hanya dihasilkan dari sumber internal pada inti luar bumi. Medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh sumber lokal di kerak bumi dan sumber eksternal medan magnet yang berasal dari benda-benda angkasa di luar bumi misalnya Matahari. Nilai medan magnet bumi yang terukur di permukaan bumi bervariasi secara kontinyu terhadap waktu, yang variasi dan perubahan tersebut sangat dipengaruhi oleh faktor lokal dan gangguan eksternal.

Sumber-sumber medan magnet yang terekam sebagai medan magnet bumi dapat dibedakan sebagai berikut:

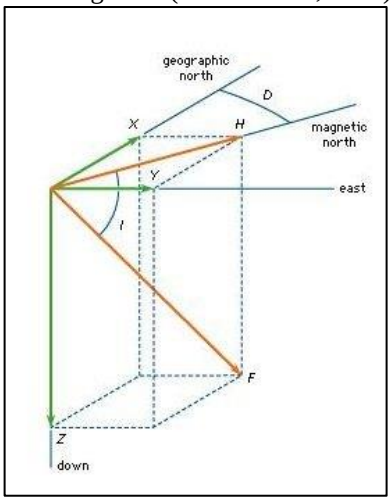
a. Sumber internal merupakan sumber medan magnet yang berasal dari inti bumi bagian luar berupa fluida metalik yang sangat panas dan mengalami pergerakan rotasional mengikuti arus konveksi yang dikenal sebagai efek geodynamo.
b. Sumber lokal adalah medan magnet yang berasal dari variasi magnetik di dekat permukaan bumi yang berasosiasi pada sumber anomali di lapisan kerak bumi
c. Sumber eksternal, merupakan sumber medan magnet yang berasal dari luar bumi oleh benda-benda angkasa yang dapat menimbulkan arus listrik di lapisan ionosfer bumi.

Sumber medan magnet eksternal dibagi atas dua jenis yakni :

a. Variasi harian, dipengaruhi oleh matahari dan bulan.
b. Badai magnet, disebabkan karena peningkatan jumlah sunspot pada Matahari sehingga pada saat tersebut diemisikan partikel bermuatan dan berenergi tinggi dengan kecepatan rata-rata sekitar 400 km/detik. (Telford et al., 1994)

### 2.1.4 Komponen, Dasar Perhitungan, dan Satuan Medan Magnet Bumi.

Medan magnet bumi merupakan kumpulan beberapa vektor komponen yang dapat teramati di permukaan bumi pada 3 sumbu arah yang berbeda dan memiliki nilai intensitas kemagnetan (Telford et al., 1994)




**Gambar 2. 4** Komponen vektor medan magnet bumi (Adhikari, 2015)

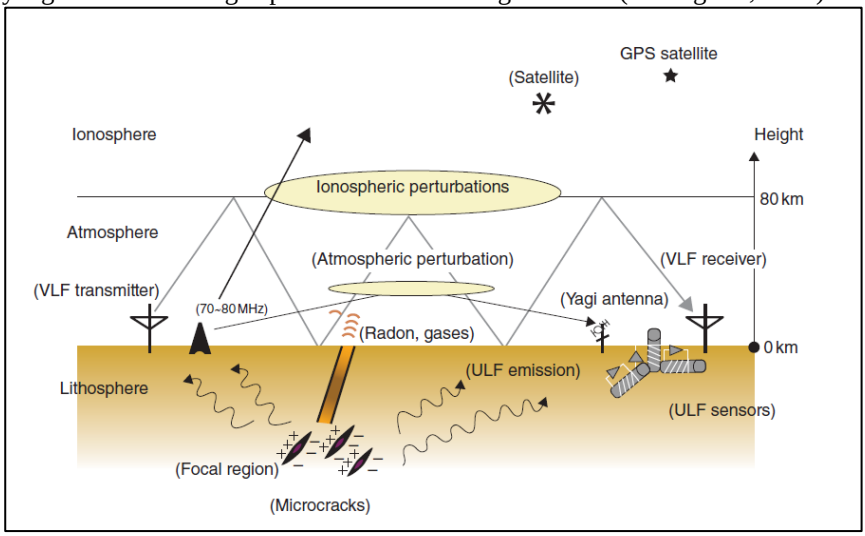
Komponen vektor medan magnet bumi adalah:

a. Komponen sumbu X, yakni intensitas medan magnet yang terukur pada arah utara geomagnet.
b. Komponen sumbu Y, yakni intensitas medan magnet yang terukur pada arah timur geomagnet.
c. Komponen horizontal (H), yakni resultan antara intensitas medan magnet pada arah utara dan timur geomagnet.
d. Komponen vertikal (Z), yakni intensitas medan magnet yang terukur pada arah vertikal geomagnet.
e. Medan magnet total (F), yakni resultan antara intensitas medan magnet pada komponen horizontal dan komponen vertikal.

f. Deklinasi (D), yakni sudut yang dibentuk antara utara geografis (utara sebenarnya) dan utara geomagnet.
g. Inklinasi (I), yakni sudut yang dibentuk antara komponen horizontal dan medan magnet total.

### 2.1.5. Fisis Sumber Emisi Seismo-Electromagnetik (SEM)

Seismo-Electromagnetik adalah hubungan antara fenomena yang terjadi pada litosfer (batuan kerak bumi) yang berkaitan dengan munculnya emisi gelombang elektromagnetik dalam rentang ULF sebelum terjadinya gempabumi. Emisi ULF yang dihasilkan tentunya tidak lepas dari pengaruh komposisi batuan pada kerak bumi yang mengandung mineral besi dan ion (partikel-partikel bermuatan). Stress maupun strain yang terakumulasi pada lapisan batuan di sepanjang bidang patahan sebelum terjadi gempabumi, menyebabkan adanya pelepasan dan aliran ion pada batuan tersebut sehingga menimbulkan arus listrik yang berkorelasi dengan perubahan medan magnet bumi. (Kamogawa, 2006)




**Gambar 2. 5** Mekanisme emisi ULF disekitar lokasi gempa (Hayakawa, 2018)

Secara umum ada tiga macam mekanisme fisis emisi Seismo-Electromagnetik yang memungkinkankan terjadinya anomali emisi ULF dan dapat dideteksi perubahannya sampai ke permukaan bumi, sebagaimana yang dijabarkan oleh Hattori dkk. (2006) pada Gambar 2.2 antara lain :

a. Efek Microfracturing, bahwa sebelum terjadi gempabumi terdapat gaya yang terakumulasi serta tekanan yang bekerja pada batuan, sehingga pada

medium batuan tersebut akan terbentuk retakan-retakan kecil yang merubah nilai permitivitas dielektrik dan konduktivitas dielektrik . Perubahan nilai permitivitas dan konduktivitas dielektrik tersebut selanjutnya memicu emisi gelombang elektromagnetik dalam rentang ULF yang terdeteksi oleh sensor di permukaan bumi

b. Efek Electrokinetic, bahwa munculnya anomali elektromagnetik disebabkan karena adanya aliran fluida yang bergerak pada celah atau rekahan batuan yang banyak terkandung mineral silika dan ion-ion didalamnya (partikel bermuatan listrik). Pergerakan fluida yang mengalirkan mineral silika dengan kandungan ion-ion inilah yang menghasilkan arus listrik dan berkorelasi dengan munculnya gangguan medan magnet yang dapat terdeteksi oleh sensor di permukaan bumi.

**c.** Efek Induksi, bahwa terjadi gangguan pada konduktivitas dielektrik disekitar lokasi sumber gempabumi akibat adanya tekanan atau stress pada batuan. Perubahan konduktifitas dielektrik tersebut kemudian terinduksi melalui medium kerak bumi (litosfer) sehingga terjadi perubahan amplitudo medan magnet yang terukur di permukaan bumi. Perubahan amplitudo medan magnet inilah yang selanjutnya dianalisis dan dijadikan sebagai salah satu parameter prekursor gempabumi

### 2.1.6 Disturbance Storm Time (DST) Index

*Disturbance Storm Time* (Dst) Index adalah sebuah pengukuran aktifitas geomagnetic yang digunakan untuk mengukur seberapa besarnya sebuah badai magnetik. Dst index diukur dengan satuan nanotesla (nT) dan diukur berdasarkan nilai rata-rata komponen horizontal magnetik (H) setiap jam pada 4 stasiun pengukuran yang berada didekat garis katulistiwa. Penggunaan Dst Index sebagai indikasi kuat lemahnya badai magnetik ialah dikarenakan kekuatan medan magnetic permukaan diketinggian yang rendah proposional secara keterbalikan terhadap energy dalam arus cincin, yang naik disaat adanya badai geomagnetik. Dst sendiri diklasifikasikan sesuai dengan table

**Tabel 2. 1** Klasifikasi Dst Index

| Criteria of Magnetic Storm | Value Range |
|---|---|
| Weak | -30nT>Dst>-50nT |
| Moderate | -50nT>Dst>-100nT |
| Strong | -100nT>Dst>-200nT |
| Severe | -200nT>Dst>-350nT |
| Great | -350nT>Dst |

## 2.2 Penelitian Sebelumnya

### 2.2.1 Prekursor Gempa Bumi

Prekursor menurut kamus Bahasa inggris memiliki arti pendahulu, oleh sebab itu prekursor gempa bumi dapat diartikan sebagai pendahulu gempa bumi atau tanda-tanda yang dapat mengindikasikan sebuah gempa bumi yang akan datang. Prekursor gempa bumi dapat ditandai oleh banyak hal namun dengan penelitian yang dilakukan oleh hayakawa pada tahun 2008, dapat disetujui bahwa peningkatan emisi ULF yang bersumber dari Microcracks merupakan salah satu tanda akan terjadinya gempa. Hal itu juga didukung oleh penelitian penelitian Kopytenko yang menunjukkan bahwa persiapakn gempa bumi bukan hanya diikuti oleh kejadian seismic dan tektonik, namun juga diikuti oleh kejadian elektromagnetik. Menurut Uyeda pada tahun 2008, prediksi gempa bumi semestinya harus terdiri dari 3 hal, kapan terjadinya gempa bumi, dimana terjadinya gempa bumi dan berapa besar gempa bumi yang akan terjadi. Namun beberapa metode untuk memprediksi dengan prediksi waktu yang singkat (dibawah 40 hari) masih sulit dilakukan. Metode statistic yang digunakan masih memiliki tingkat error yang tinggi.(Hattori et al., 2006)

### 2.2.2 Penentuan Onset dan Lead Time

Onset dalam prekursor gempa bumi adalah waktu dimana anomali pertama muncul, sedangkan Lead Time merupakan jangka waktu dari munculnya onset hingga terjadinya gempa bumi (Event). Metode untuk menentukan onset ialah dengan menggunakan Power Ratio Spectrum Z/H dari data magnetik yang diambil dalam rentang waktu 21 hari sebelum terjadinya event. Data akan dianggap merupakan anomali jika data polarisasi Z/H melonjak atau menunjam melewati batas standar deviasi. (Ahadi et al., 2014a)

### 2.2.3 Perhitungan Azimuth

Arah Azimut sumber gempa digunakan metode fungsi transfer Single Station untuk mengamati anomali konduktifitas bumi pada satu stasiun. Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Hattori (2004) dimana fungsi transfer tersebut dapat menyelesaikan suatu persamaan dari komponen X, Y dan Z geomagnet. Fungsi transfer merupakan fungsi dari komponen bilangan kompleks Fourier. Hubungan ini ditafsirkan sebagai sistem linier yang memiliki dua masukan (input) dan satu keluaran (output). Koefisien dianggap invarian pada durasi

tertentu. Fungsi transfer memiliki informasi tentang konduktifitas listrik di bawah tanah yang disebut dengan CA (Conductivity Anomali).

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

Dalam persamaan matrik:

$$\begin{bmatrix} \Delta X1_{X_r X_i} & \Delta Y1_{Y_r Y_i} \\ \Delta Xn_{X_r X_i} & \Delta Yn_{Y_r Y_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{A_r A_i} \\ B_{B_r B_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z1_{Z_r Z_i} \\ Zn_{Z_r Z_i} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kemudian disederhanakan menjadi:

$$[G][m] = [\delta] \quad (2)$$

Inversi

$$G.m = \delta \quad (3)$$

$$m = [G^T\ G]^{-1} G^T.\delta \quad (4)$$

$$Amp(\omega) = \sqrt{Ar(\omega)^2 + Br(\omega)^2} \quad (5)$$

$$Dir = \arctan\left(\frac{Br(\omega)}{Ar(\omega)}\right) \quad (6)$$

- Amp = skala konduktivitas (jarak antara medan konduktivitas)
- Dir = arah arus dari bawah stasiun (arah medan konduktivitas)
- Θ deg (derajat) = sudut dari arah Utara searah jarum jam

Hasil dari analisis fungsi transfer tersebut adalah skala konduktivitas (Amp) yang dihitung dari jarak medan konduktivitas, arah azimut (Dir) dari bawah stasiun geomagnet yang sudutnya diawali dari arah utara (N= 00) searah dengan jarum jam. Hasil prakiraan azimuth ini mempunyai toleransi ± 22.5º berdasarkan pada sebaran data yang telah diperoleh dalam waktu 1 tahun pengamatan(Ahadi et al., 2014b).

### 2.2.4 Bandpass maksimal

Beberapa penelitian menjelaskan bahwa bandpass optimum dimana dapat ditemukan nilai anomaly bervariatif, dimana ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan. Menurut Hayakawa (2018), bandpass optimum dalam Analisa anomali gempa bumi berdasarkan data magnetic merupakan 0.033-0.1

Hz. Hal itu berbeda dengan yang telah dikatakan oleh Ahadi (2014) dimana bandpass optimum untuk penelitian, terutama untuk studi kasus pulau Sumatra ialah 0.01-0.03 Hz.(Sokacana et al., 2019)

### 2.2.5 Menentukan Magnitudo

Berdasarkan rekaman kejadian gempabumi di sekitar megathrust Sumatra dan nilai rasio Power Spektrum Z/H (Amplitudo) yang diperkirakan berasosiasi dengan prekursor gempabumi tersebut selama dua tahun terakhir dengan menambahkan factor jarak, diperoleh hubungan empiris antara magnitudo gempabumi dengan nilai rasio Power Spektrum Z/H (Amplitudo) sebagai berikut:

Untuk gempabumi di daerah Megathrust Sumatera

$$M = A * 0.1 + R * 0.002 + 4.288 \quad (7)$$

dimana:

M = Magnitudo Gempabumi

A = Amplitudo atau nilai rasio power spectrum Z/H

R = Jarak Stasiun ke titik tengah daerah arsiran

### 2.2.6 Analisa anomali prekursor menggunakan TEC dan Radon

Selain menggunakan Analisa pada data geomagnetik harian, peneliti terutama diIndonesia sendiri juga menggunakan metode TEC dan Radon. Metode TEC (Total Electron Current) menggunakan data anomali dalam pergerakan electron didalam litosfer yang disebabkan oleh aktifitas *microcracks* seperti yang sdah dijelaskan dalam 2.1.5 dimana akan adanya perubahan nilai electron disaat adanya pergerakan didalam microcracks, pergerakan itu juga akan meghasilkan gas Radon ($^{222}Rn$) yang juga dapat menjadi data yang dapat dipergunakan untuk menentukan anomali yang nantinya akan dijadikan prekursor gempa bumi (Pakpahan et al., 2014; Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa 1 No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720 et al., 2016; Rohadi and Sakya, 2016) namun sesuai dengan yang dikutip oleh Uyeda (2008) prekursor harus meliputi faktor kapan, dimana dan seberapa besar. Sayangnya belum ada penelitian yang dapat menjawab dimana gempa akan terjadi dan seberapa gempa yang akan terjadi jika dilakukan Analisa menggunakan data TEC dan Radon, berbeda dengan menggunakan data geomagnetic.

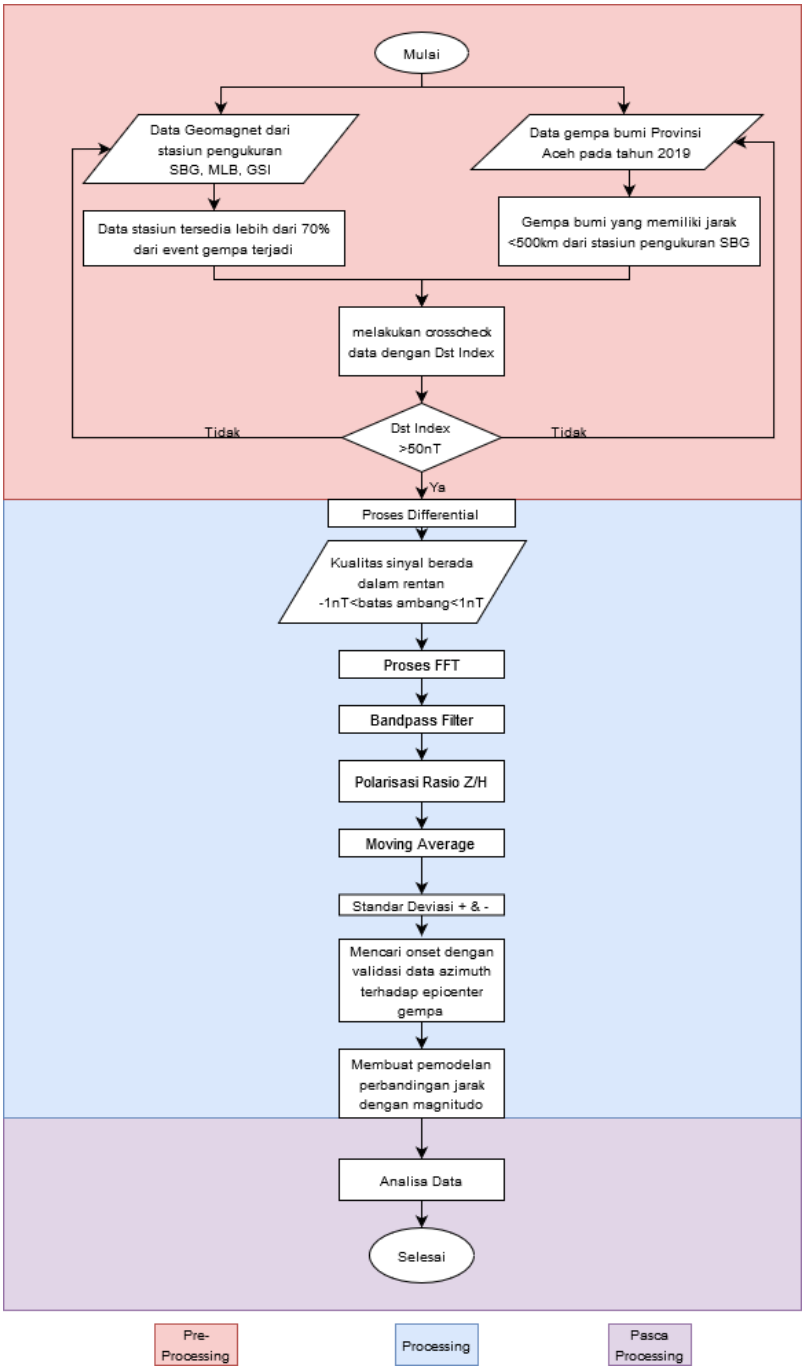
**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

# BAB III
# METODOLOGI

## 3.1 Skema Kerja

Pengerjaan tugas akhir ini mengikuti alur pengerjaan yang dideskripsikan pada diagram alur pada gambar 3.1 berikut:

**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**


Mulai
Data Geomagnet dari stasiun pengukuran SBG, MLB, GSI
Data gempa bumi Provinsi Aceh pada tahun 2019
Data stasiun tersedia lebih dari 70% dari event gempa terjadi
Gempa bumi yang memiliki jarak <500km dari stasiun pengukuran SBG
melakukan crosscheck data dengan Dst Index
Dst Index >50nT
Tidak
Tidak
Ya
Proses Differential
Kualitas sinyal berada dalam rentan -1nT<batas ambang<1nT
Proses FFT
Bandpass Filter
Polarisasi Rasio Z/H
Moving Average
Standar Deviasi + & -
Mencari onset dengan validasi data azimuth terhadap epicenter gempa
Membuat pemodelan perbandingan jarak dengan magnitudo
Analisa Data
Selesai
Pre-Processing
Processing
Pasca Processing

**Gambar 3. 1** Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir

Penjelasan akan tiap-tiap Langkah kerja akan dijelaskan dalam sub bab 3.3

## 3.2 Peralatan dan Data

### 3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Perangkat keras:
   a. 1-unit komputer
2. Perangkat lunak:
   *a. MATLAB 2015b*
   *b. Google Earth Pro*
   c. *Microsoft Excel*
   d. *Notepad ++*
   e. *Microsoft Word*
   f. *Adobe Acrobat Reader*
   g. *Arcmap*

### 3.2.2 Data

Data yang digunakan memiliki spesifikasi seperti berikut

**Tabel 3. 1** Data yang digunakan dalam penelitian

| No | Data | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | Data kejadian gempa diProvinsi Nanggroe Aceh Darussalam | Diperoleh dari repository gempa bumi BMKG |
| 2 | Data pengukuran magnetik harian yang direkam oleh MAGDAS magnetometer dari stasiun pengamatan SBG (Sabang), MLB (Meulaboh) dan GSI (Gunungsitoli) | Diperoleh dari database BMKG Jakarta |
| 3 | Indeks Dst. | Diperoleh dari website: http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201902/index.html |
| 4 | Data arah azimuth | Diperoleh dari database BMKG Jakarta |

## 3.3 Langkah Kerja

Cara kerja dalam penelitian kali ini dapat dijelaskan berdasarkan tahapan yang telah dibagi dalam lima bagian oleh penulis. Penjelasan setiap tahapnya adalah sebagai berikut :

### 3.3.1 Tahap Persiapan

#### 3.3.1.1 Studi Litelatur

Studi litelatur dilakukan dengan menggunakan software Microsoft word dan adobe acrobat reader dimana hasil dari studi paper/buku akan dituliskan dalam Microsoft word sebagai catatan penelitian sebelumnya

#### 3.3.1.2 Pemilihan Data

Tahap pertama dalam pemilihan data adalah mengkategorikan kejadian gempa selama tahun penelitian (2019) disepanjang lokasi penelitian (Pulau Sumatra) berdasarkan besar magnitudo gempa, tanggal terjadinya gempa dan koordinat hiposenter gempa. Data gempa yang dipilih adalah gempa-gempa yang memiliki perbedaan magnitude yang signifikan dengan jarak waktu antar gempa yang jauh. Setelah ditemukan gempa-gempa yang akan dijadkan patokan studi kasus penelitian, maka yang dilakukan adalah mengambil data stasiun pengukuran magnetik dengan rentan waktu pengukuran 21 hari sebelum terjadinya Event. Setelah itu akan dilakukan pengecekan kualitas data yang telah diambil dari berbagai stasiun pengukuran dengan menggunakan *Disturbance Storm Time* (Dst) Index. Kualitas data akan dianggap bagus jika data memiliki nilai index diatas -50nT yang menyatakan bahwa gangguan elektromagnetik berada pada level terendah (table 2.1)

### 3.3.2 Tahap Pengolahan

#### 3.2.2.1 Raw Data

Tahap pengolahan yang pertaman dilakukan ialah membuat script pengolahan menggunakan software matlab, didalam script matlab pengolahan sendiri yang perlu dibuat ialah program untuk mengubah file raw dari alat menjadi format yang dapat diolah didalam matlab, setelah itu definisikan komponen-komponen data yang ada didalam file data raw dimana didalam ada ada komponen-komponen seperti beriku Horizontal (H), Vertikal (Z), Medan

magnet total (F), komponen sumbu X (X), komponen sumbu Y (Y). Data bersifat time series karena data tersusun berurutan dari detik pertama dipukul 00.00 sampai detik terakhir pada pukul 24.59 yang menunjukkan bahwa data harian berjumlah 3600 buah.

#### 3.2.2.2 Differential

Selanjutnya untuk melihat kualitas data magnetik harian Ketika dipengaruhi noise seperti gangguan sensor (*Spike like noise*), gangguan ionosfer, magnetospheric atau gangguan medan magnetic lainnya maka derlukan proses differential. Proses ini dilakukan menggunakan software Matlab R2015a. hasil proses ini merupakan waveform dengan rentang -1nT<batas ambang<1 nT

#### 3.2.2.3 *Fast Fourier Transform* (FFT)

Tahap selanjutnya adalah melakukan *Fast Fourier Transform* dengan menggunakan software Matlab 2015a. tahap ini digunakan untuk mengubah data komponen magnetik vertikal (Z) dan komponen horizontal (H) menjadi domain frekuensi dari domain waktu. Data yang digunakan merupakan data diskrit jadi perlu dilakukan *Discrete Fourier Transform* (DFT) dengan persamaan sebagai berikut

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i k x} \, dx \tag{3.1}$$

dengan nilai k menunjukkan indeks frekuensi, x menunjukkan index waktu, f(x) menunjukkan fungsi nilai komponen magnetik vertikal (Z) atau horizontal (H) dalam domain waktu dan f(k) menunjukkan fungsi nilai komponen magnetik vertikal (Z) atau horizontal (H) dalam domain frekuensi

#### 3.2.2.4 Bandpass Filter dan Plotting

Kemudian dilakukan bandpass filter pada rentang frekuensi 0.012-0.022 Hz dengan tujuan untuk mendapatkan sinyal frekuensi rendah yang optimum digunakan dalam menganalisis amplitude anomali magnet harian Z dan H sebelum terjadinya gempabumi

#### 3.2.2.5 Polarisasi *Power* Ratio (Z/H)

Langkah selanjutnya ialah analisis anomali komponen vertikal (Z) dibandingkan dengan horizontal (H) yang akan dianggap sebagai onset time sebelum terjadinya gempa bumi. Untuk menentukan polarisasi power rasio Z/H perlu dilakukan moving average menggunakan software matlab R2015a yang hasilnya akan menunjukkan seberapa besar perubahan amplitude anomali dan juga waktu munculnya anomali tersebut. Setelah itu dilakukan perhitungan standar deviasi pada batas maksimum (+) dan minimum (-) pada nilai polarisasi power ratio untuk menentukan amplitudo anomali polarisasi power ratio.

### 3.3.3 Analisis Prekursor Gempabumi

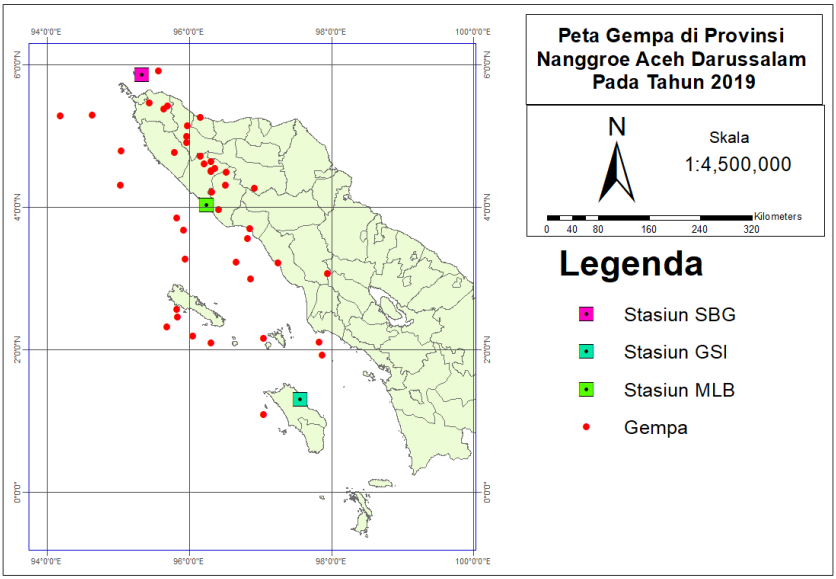
Tahap terakhir dari tujuan penelitian ini ialah menganalisis prekursor gempabumi. Batas waktu pengamatan hasil Polarisasi power ratio Z/H akibat emisi ULF dari aktifitas pergerakan lempeng ialah 30 hari sebelum terjadinya gempabumi. Untuk memperkuat pemilihan onset dari hasil polarisasi power ratio yang dianggap sebagai anomali maka perlu divalidasi dengan data indeks Dst dan juga data arah azimuth dari masing-masing anomali. Arah azimuth yang dianggap sesuai dan tepat dipilih menjadi prekursor gempa harus berada dalam standar deviasi keakuratan sebesar $\pm 22{,}5°$. Hal itu dikarenakan dari banyaknya anomali dalam polarisasi power ratio Z/H, pengecekan arah azimuth akan memastikan bahwa anomali prekursor yang ditemukan benar-benar disebabkan oleh gempa yang dirujuk. Setelah itu akan keluar presentasi dari keberhasilan tiap stasiun pengukuran dalam memonitori prekursor gempa bumi dan juga grafik perbandingan jarak dan juga magnitude dari tiap-tiap event gempa.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Hasil Pengolahan Kasus Gempa

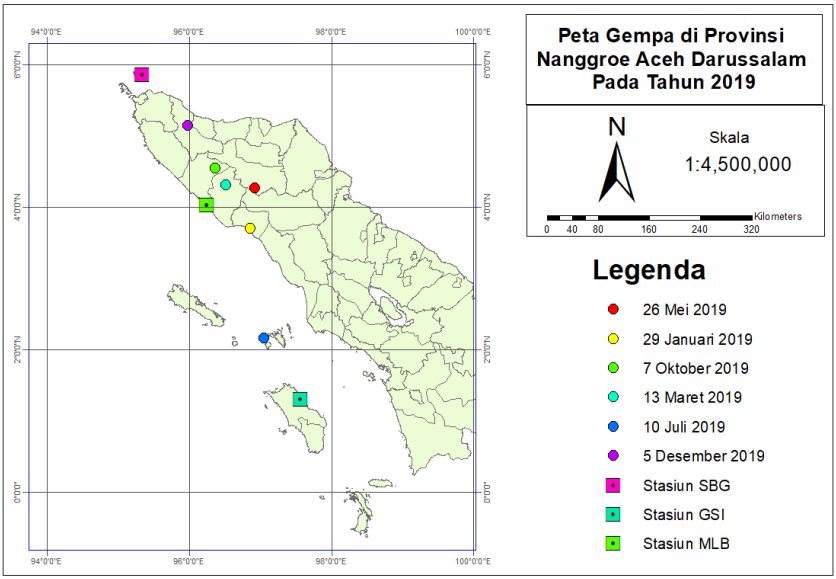
Penelitian telah dilaksanakan untuk menentukan prekursor gempa bumi yang diakibatkan dari anomali emisi gelombang elektromagnetik ULF yang disebabkan oleh adanya aktifitas pergerakan lempeng. Penelitian ini berfokus pada gempa yang terjadi diprovinsi Nanggroe Aceh Darussalam selama tahun 2019 dengan jarak maksimum 500 km dari stasiun pengukuran Sabang (SBG). Adapun 3 stasiun pengukuran yang merekam gempa-gempa yang terjadi diprovinsi Nanggroe Aceh Darussalam yaitu stasiun pengukuran SBG (Sabang), MLB (Meulaboh) dan GSI (Gunungsitoli). Menurut data repository BMKG, gambar 4.1 merupakah seluruh kejadian gempa yang terjadi pada tahun 2019 di provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Informasi lebih lengkap tentang 42 gempa yang diteliti telah dilampirkan dibagian lampiran dengan bentuk sebuah table.



**Gambar 4. 1** Peta daerah penelitian beserta persebaran gempa dan stasiun pengukuran

Analisa akan dilaksanakan menggunakan data pengolahan komponen magnetik Vertikal (Z) dan Horizontal (H) yang direkan oleh MAGDAS magnetometer di seluruh stasiun pengukuran. Jangka pengamatan yang dilakukan merupakan pengamatan jangka pendek (30 hari) sebelum waktu gempa bumi terjadi (Event). Jangka pengamatan yang pendek itu dipilih mengingat bahwa wilayah tersebut tergolong rutin mengalami gempa dan adanya kekhawatiran kalau data akan tercampur dengan gangguan eksternal lainnya (Noise).

Dari ke 42 gempa yang diteliti, telah dipilih 6 peristiwa gempa yang akan dibahas dalam subbab 4.1.1 dengan detail lokasi seperti terlihat pada gambar 4.2. Data yang dipilih untuk dibahas dalam pembahasan dinilai cukup *representative* untuk mewakili berbagai tipe respon yang dihasilkan oleh tiap stasiun pengukuran.



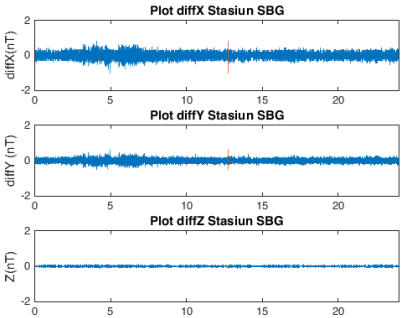

**Gambar 4. 2** Peta lokasi gempa yang akan dibahas lebih lanjut dalam subbab 4.1.1

**Tabel 4. 1** Data Gempa

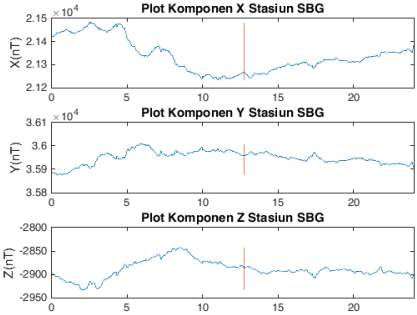
| no | Tanggal | waktu | Latitude | Longitude | Magnitude | Depth |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 29/01/2019 | 06:31:33 | 3.7 | 96.86 | 4 | 73 |
| 2 | 13/03/2019 | 08:45:09 | 4.32 | 96.52 | 3 | 29 |
| 3 | 26/05/2019 | 27:25.8 | 4.27 | 96.93 | 3.4 | 10 |
| 4 | 10/07/2019 | 06:52:59 | 2.16 | 97.05 | 4.9 | 42 |
| 5 | 07/10/2019 | 21:11:36 | 4.55 | 96.37 | 4 | 10 |
| 6 | 05/12/2019 | 09:13:51 | 5.15 | 95.98 | 4.8 | 11 |

### 4.1.1 Gempabumi 29 Januari 2019

Gempabumi yang terjadi pada 29 Januari 2019 memiliki magnitude 4 Mw dengan hypocenter gempa 75,43 km dari permukaan stasiun pengukuran SBG, 280,65 km dari stasiun pengukuran MLB dan lebih dari batas maksimum (500km) dari stasiun pengukuran GSI.



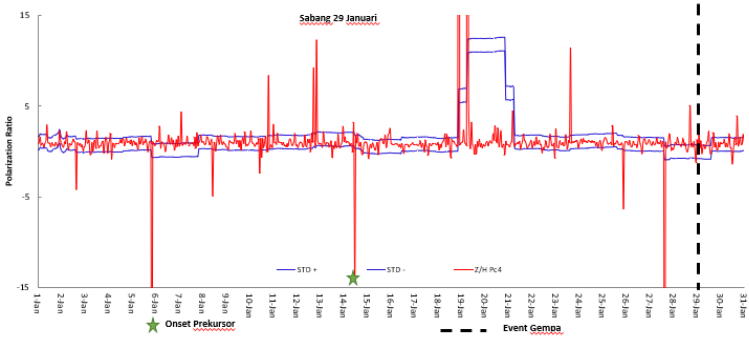

(a)




(b)

**Gambar 4. 3** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 14 Januari 2019 dari stasiun pengukuran SBG

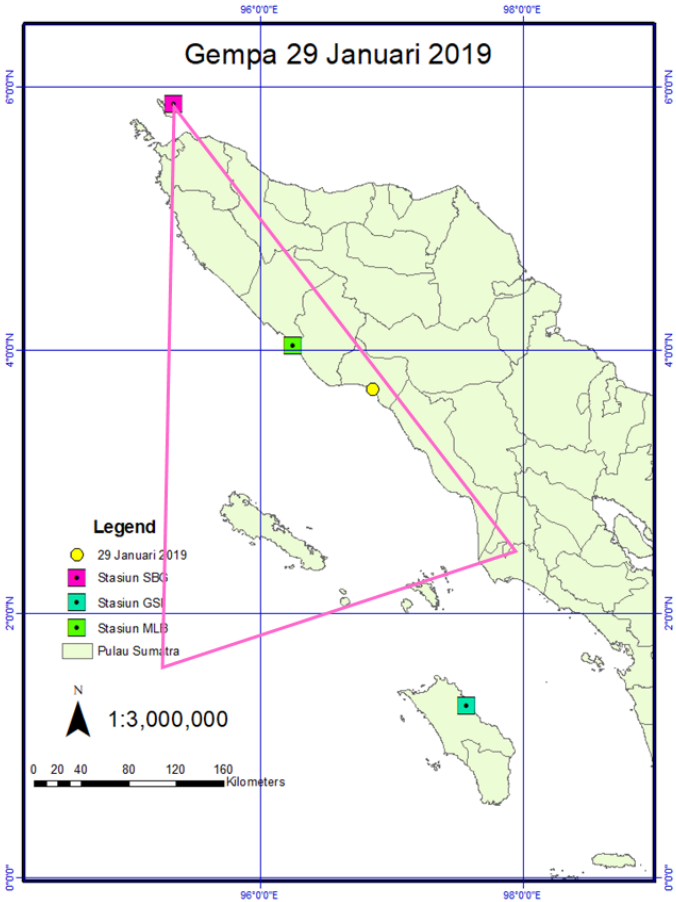
Gambar 4.3 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terliat dalam kualita baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.




**Gambar 4. 4** Polarisasi power rasio pada tanggal 29 januari dari stasiun SBG

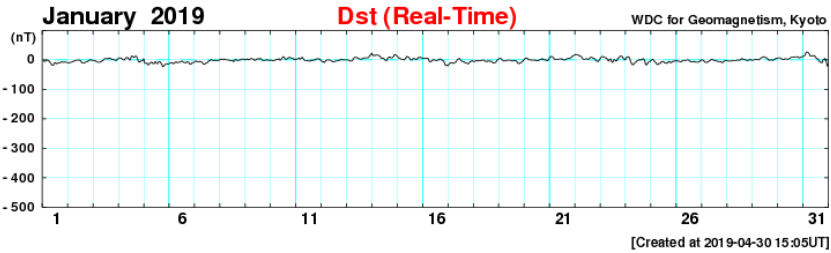
Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.4 namun setelah dicrosscheck kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 14 januari 2019 di

stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth (±22,5°) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa seperti hasil pemetaan pada gambar 4.5



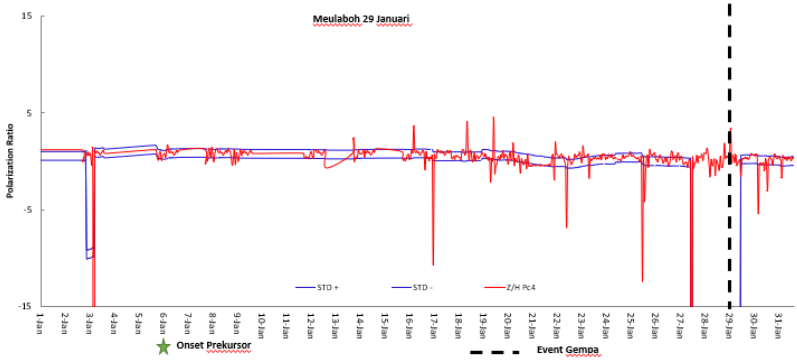
**Gambar 4. 5** Pemetaan lokasi prediksi gempa dari hasil perhitungan anomali prekursor dan gempa yang terjadi

Terlihat dari hasil pemetaan lokasi gempa dengan prediksi area terjadinya gempa bahwa anomali prekursor yang terekam pada onset 14 Januari 2019 yang memiliki arah azimuth 160$^{o}$ (yang dihitung dalam radius lingkaran mengelilingi stasiun pengkuran dengan 0$^{0}$ dimuali dari utara stasiun pengukuran) merupakan anomali prekursor yang valid dari gempa pada tanggal 29 Januari 2019.

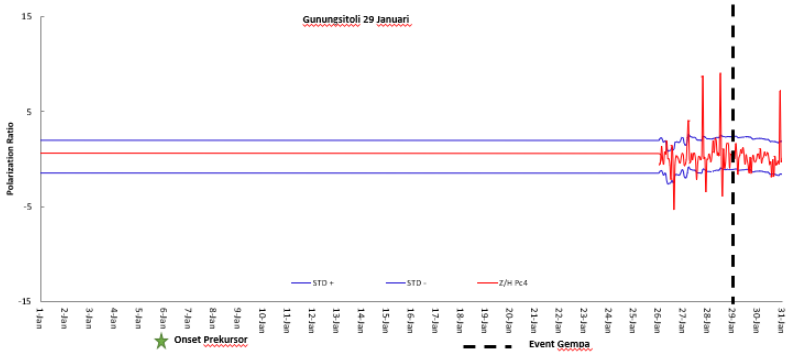



**Gambar 4. 6** Grafik indeks Dst. Selama bulan januari 2019

Seperti yang terlihat pada gambar 4.6 tidak ada lonjakkan nilai (dengan nilai lonjakkan akan melebihi -50nT) terjadi diantara waktu onset dan juga event gempa bumi (14 januari hingga 29 januari), oleh sebab itu onset dianggap valid dan resmi menjadi prekursor gempa bumi.




**Gambar 4. 7** Polarisasi power rasio pada tanggal 29 januari dari stasiun MLB

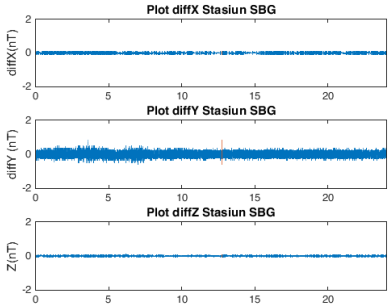



**Gambar 4. 8** Polarisasi power rasio pada tanggal 29 januari dari stasiun GSI

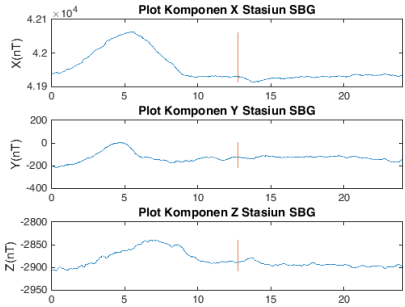
Stasiun pengukuran MLB sendiri tidak memiliki data azimuth yang mengarah kearah gempa, membuat data tersebut dianggap tidak memiliki data prekursor. Sementara stasiun pengukuran GSI sendiri tidak memiliki data yang cukup (>70%) untuk diolah menjadi data prekursor yang tepat.

### 4.1.2 Gempabumi 13 Maret 2019

Gempabumi yang terjadi pada 29 Januari 2019 memiliki magnitude 3 Mw dengan hypocenter gempa 217,9 km dari permukaan stasiun pengukuran SBG, 53,5 km dari stasiun pengukuran MLB dan 355,5 km dari stasiun pengukuran GSI



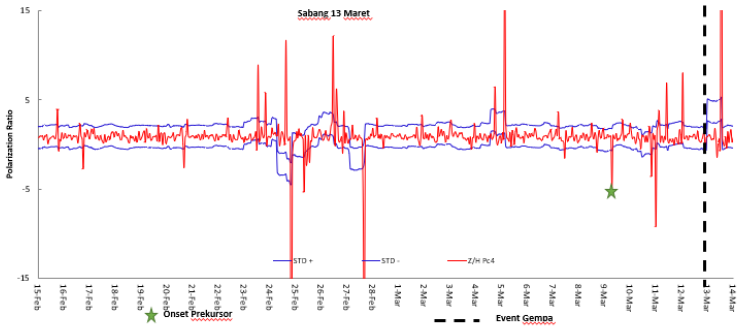

(a)




(b)

**Gambar 4. 9** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 9 Maret 2019 dari stasiun pengukuran SBG

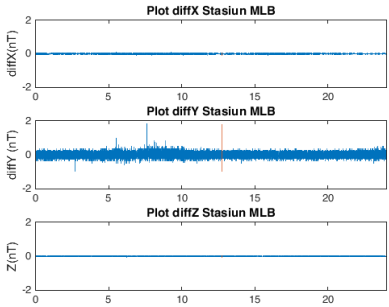
Gambar 4.9 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.



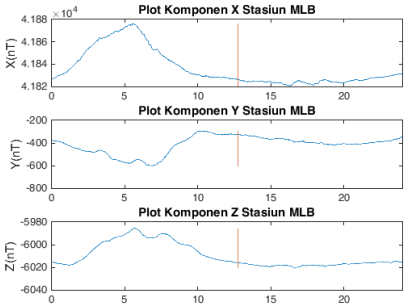

**Gambar 4. 10** Polarisasi power rasio pada tanggal 13 Maret dari stasiun SBG

Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.10 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth

dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 9 Maret 2019 di stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth (±22,5°) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa



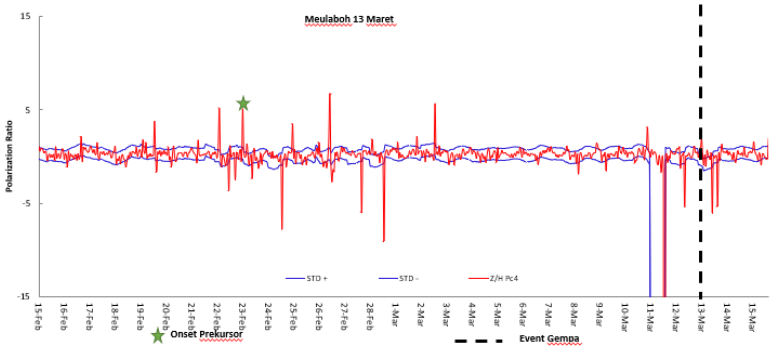

(a)




(b)

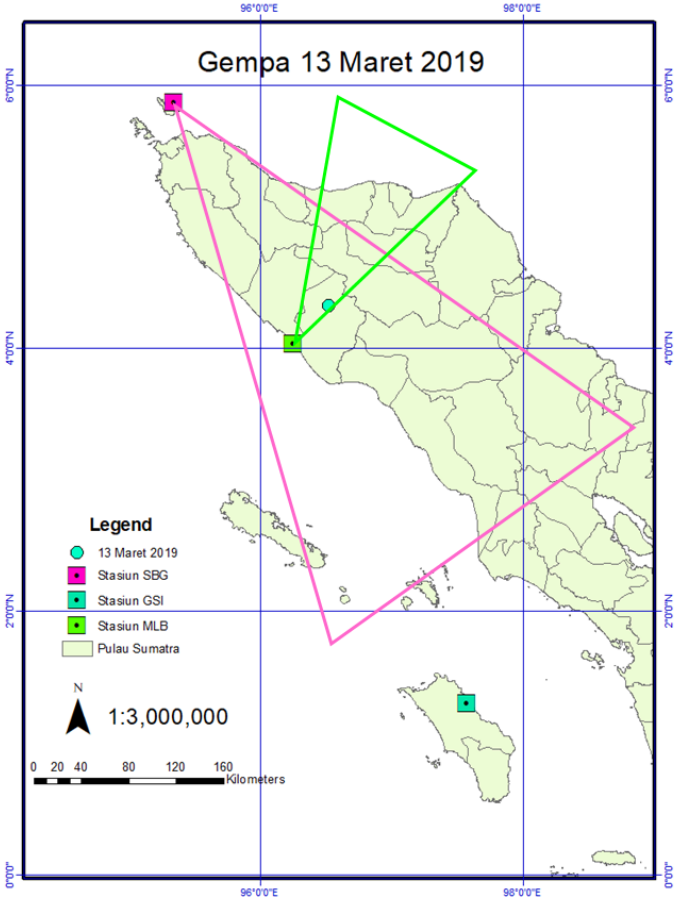
**Gambar 4. 11** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 23 februari 2019 dari stasiun pengukuran MLB

Gambar 4.11 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.




**Gambar 4. 12** Polarisasi power rasio pada tanggal 13 Maret dari stasiun MLB

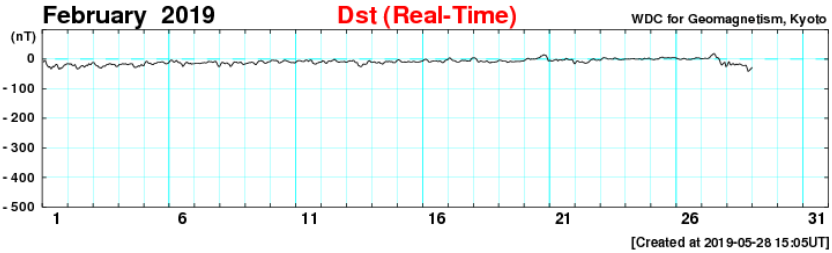
Sama seperti stasiun pengukuran SBG, stasiun pengukuran MLB juga mencatat adanya anomali dalam hasil polarisasi power rasio-nya. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.12 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 23 Februari 2019 di stasiun pengukuran MLB terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa



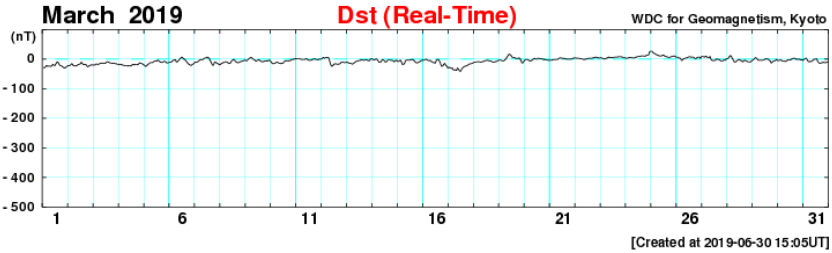

**Gambar 4. 13** Pemetaan lokasi prediksi gempa dari hasil perhitungan anomali prekursor dan gempa yang terjadi

Terlihat dari hasil pemetaan lokasi gempa dengan prediksi area terjadinya gempa bahwa anomali prekursor yang terekam pada 2 onset yang direkam oleh 2 stasiu pengukuran yang berbeda (SBG dan MLB) pada tanggal 23 Februari dan 9 Maret 2019. Anomali dari stasiun pengukuran SBG memiliki arah azimuth$150^0$ sedangkan anomali yang terekam pada stasiun MLB hanya memiliki arah

azimuth 45° (kedua arah anomali dihitung dalam radius lingkaran mengelilingi stasiun pengukuran dengan $0^0$ dimuali dari utara stasiun pengukuran) merupakan anomali prekursor yang valid dari gempa pada tanggal 13 Maret 2019



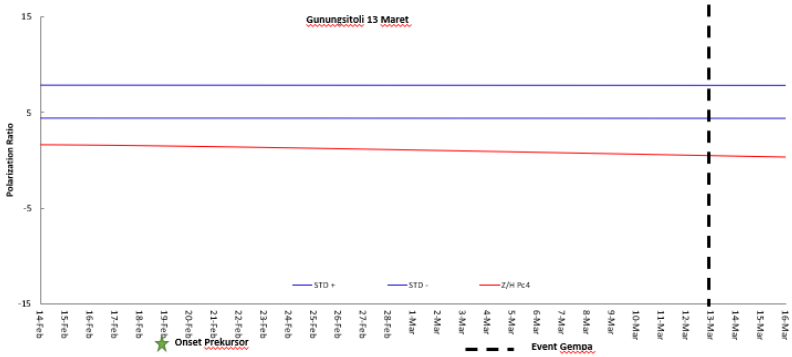

(a)




(b)

**Gambar 4. 14** Grafik indeks Dst. Selama (a) bulan Februari 2019 (b) bulan Maret 2019

Seperti yang terlihat pada gambar 4.14 tidak ada lonjakkan nilai (dengan nilai lonjakkan akan melebihi -50nT) terjadi diantara waktu onset dan juga event gempa bumi (23 Februari hingga 13 Maret dan 9 Maret hingga 13 Maret 2019), oleh sebab itu onset dianggap valid dan resmi menjadi prekursor gempa bumi.

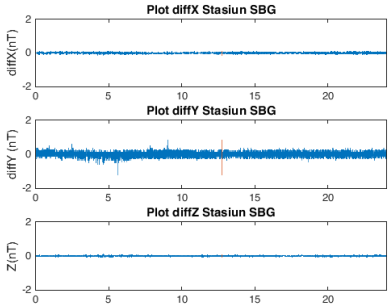



**Gambar 4. 15** Polarisasi power rasio pada tanggal 13 Maret dari stasiun GSI

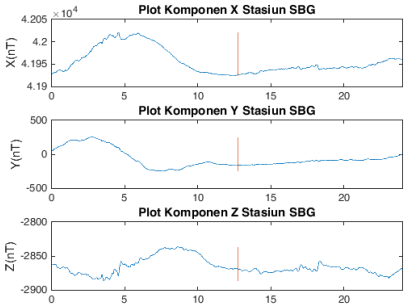
Sementara itu stasiun pengukuran GSI sendiri tidak memiliki data yang cukup (>70%) untuk diolah menjadi data prekursor yang baik.

### 4.1.3 Gempabumi 26 Mei 2019

Gempabumi yang terjadi pada 26 Mei 2019 memiliki magnitude 3.4 Mw dengan hypocenter gempa 250,19 km dari permukaan stasiun pengukuran SBG, 82,6 km dari stasiun pengukuran MLB dan 337,5 km dari stasiun pengukuran GSI.



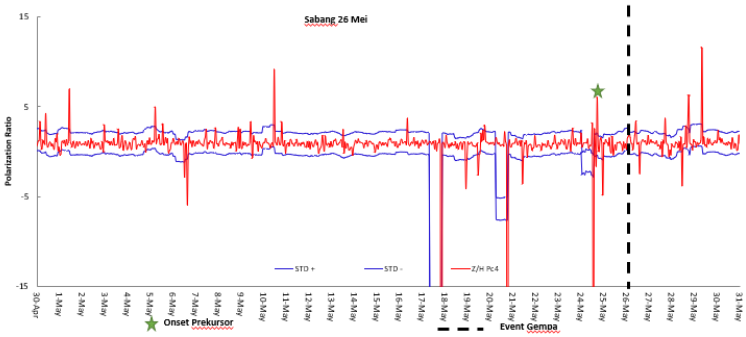

(a)




(b)

**Gambar 4. 16** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 24 Mei 2019 dari stasiun pengukuran SBG

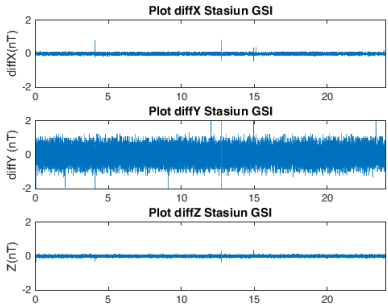
Gambar 4.16 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.



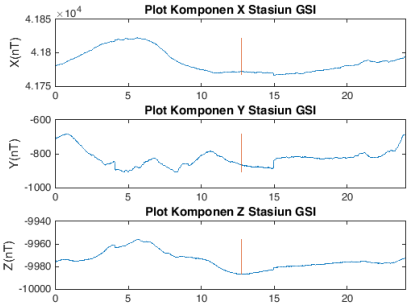

**Gambar 4. 17** Polarisasi power rasio pada tanggal 26 Mei dari stasiun SBG

Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset

pada gambar 4.17 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 24 Mei 2019 di stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa.



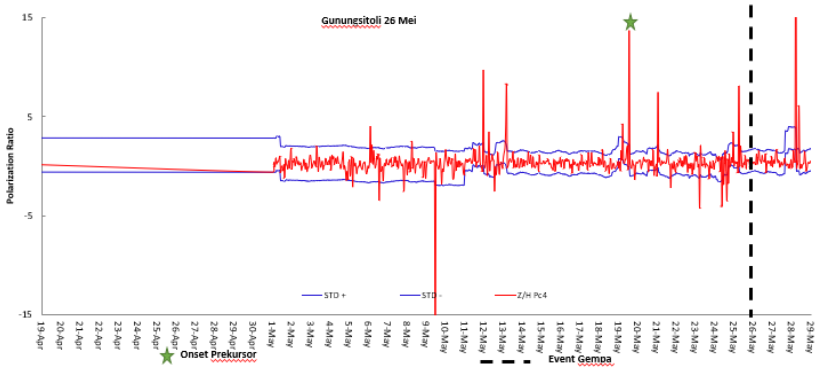

(a)




(b)

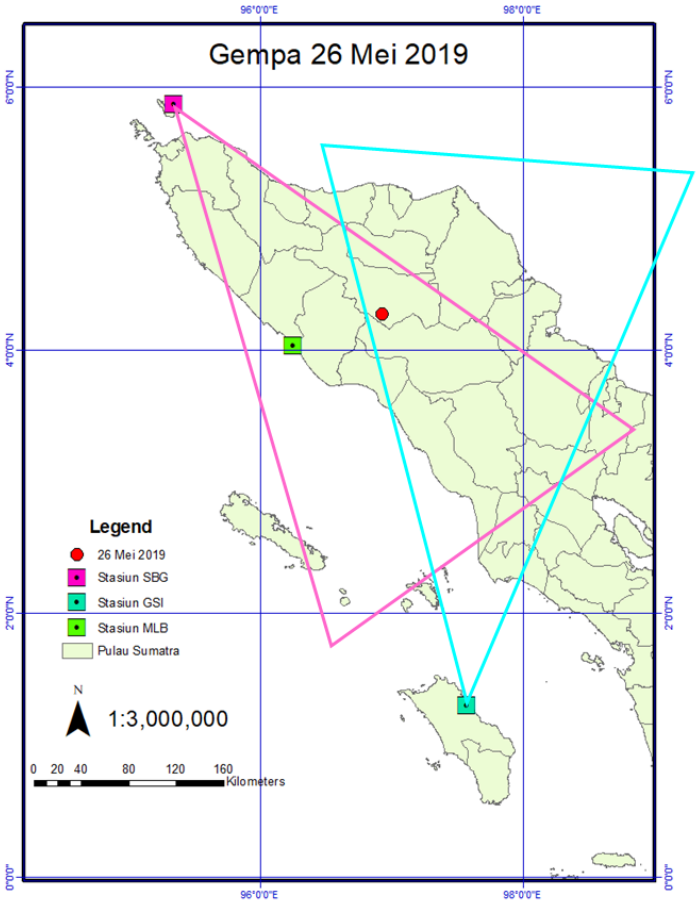
**Gambar 4. 18** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 19 Mei 2019 dari stasiun pengukuran GSI

Gambar 4.18 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.




**Gambar 4. 19** Polarisasi power rasio pada tanggal 26 Mei dari stasiun GSI

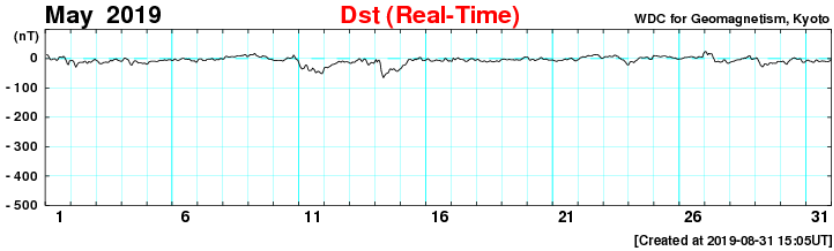
Sama seperti stasiun pengukuran SBG, stasiun pengukuran GSI juga mencatat adanya anomali dalam hasil polarisasi power rasio-nya. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.19 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 19 Mei 2019 di stasiun pengukuran MLB terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa




**Gambar 4. 20** Pemetaan lokasi prediksi gempa dari hasil perhitungan anomali prekursor dan gempa yang terjadi

Terlihat dari hasil pemetaan lokasi gempa dengan prediksi area terjadinya gempa bahwa anomali prekursor yang terekam pada 2 onset yang direkam oleh 2 stasiu pengukuran yang berbeda (SBG dan GSI) pada tanggal 19 Mei dan 24 Mei 2019. Anomali dari stasiun pengukuran SBG memiliki arah azimuth $140^0$ sedangkan anomali yang terekam pada stasiun GSI hanya memiliki arah azimuth $30^o$ (kedua arah anomali dihitung dalam radius lingkaran mengelilingi stasiun pengukuran

dengan $0^0$ dimuali dari utara stasiun pengukuran) merupakan anomali prekursor yang valid dari gempa pada tanggal 26 Mei 2019.

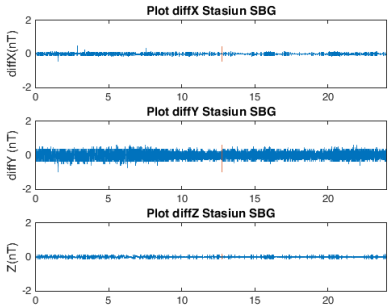



**Gambar 4. 21** Grafik indeks Dst. Selama bulan mei 2019

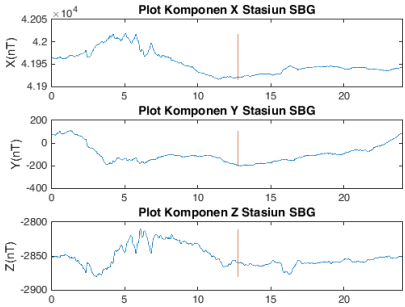
Seperti yang terlihat pada gambar 4.21 tidak ada lonjakkan nilai terjadi diantara waktu onset dan juga event gempa bumi (19 Mei hingga 26 Mei dan 24 Mei hingga 26 Mei), oleh sebab itu onset dianggap valid dan resmi menjadi prekursor gempa bumi.

### 4.1.4 Gempabumi 10 Juli 2019

Gempabumi yang terjadi pada 10 Juli 2019 memiliki magnitude 4.9 Mw dengan hypocenter gempa 448,19 km dari permukaan stasiun pengukuran SBG, 230,8 km dari stasiun pengukuran MLB dan 119,6 km dari stasiun pengukuran GSI.




(a)




(b)

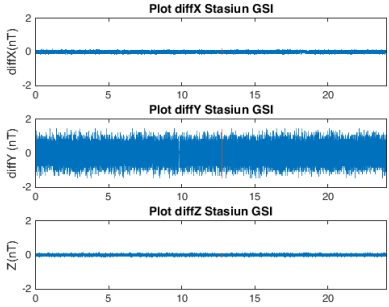
**Gambar 4. 22** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 1 Juli 2019 dari stasiun pengukuran SBG

Gambar 4.22 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.

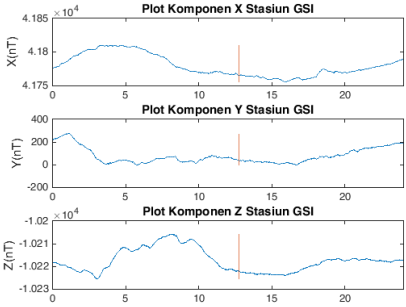
**Gambar 4. 23** Polarisasi power rasio pada tanggal 10 Juli dari stasiun SBG

Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang

terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.23 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 1 Juli 2019 di stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa.



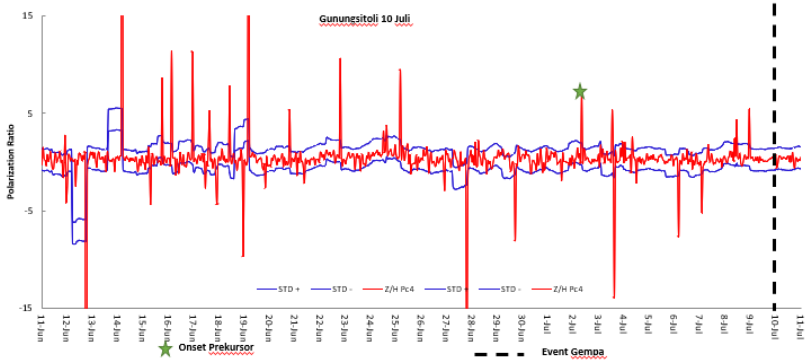

(a)




(b)

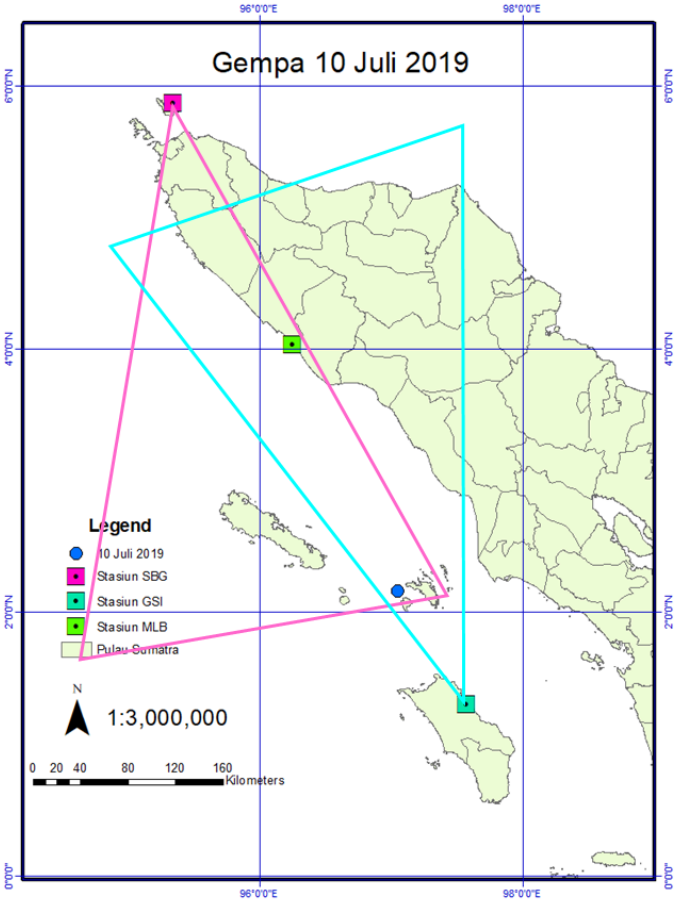
Gambar 4. 24 Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 2 Juli 2019 dari stasiun pengukuran GSI

Gambar 4.24 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal




**Gambar 4. 25** Polarisasi power rasio pada tanggal 10 Juli dari stasiun GSI

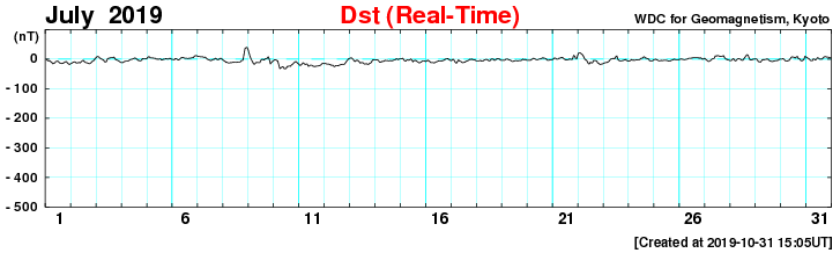
Sama seperti stasiun pengukuran SBG, stasiun pengukuran GSI juga mencatat adanya anomali dalam hasil polarisasi power rasio-nya. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.25 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 2 Juli 2019 di stasiun pengukuran MLB terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa




**Gambar 4. 26** Pemetaan lokasi prediksi gempa dari hasil perhitungan anomali prekursor dan gempa yang terjadi

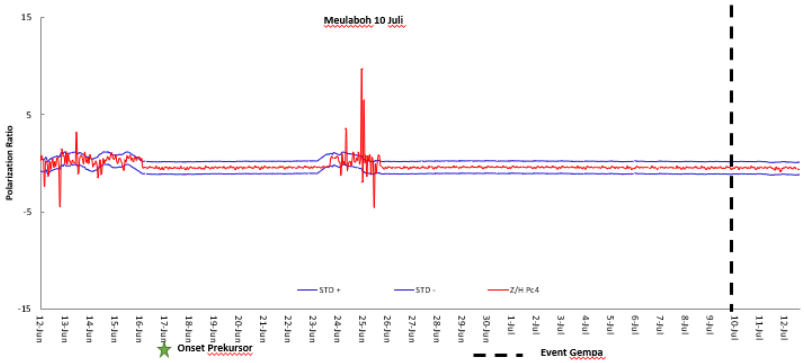
Terlihat dari hasil pemetaan lokasi gempa dengan prediksi area terjadinya gempa bahwa anomali prekursor yang terekam pada 2 onset yang direkam oleh 2 stasiu pengukuran yang berbeda (SBG dan GSI) pada tanggal 1 dan 2 Juli 2019. Anomali dari stasiun pengukuran SBG memiliki arah azimuth $160^0$ sedangkan anomali yang terekam pada stasiun GSI hanya memiliki arah azimuth $320^o$ (kedua arah anomali dihitung dalam radius lingkaran mengelilingi stasiun

pengukuran dengan $0^0$ dimuali dari utara stasiun pengukuran) merupakan anomali prekursor yang valid dari gempa pada tanggal 10 Juli 2019.




**Gambar 4. 27** Grafik indeks Dst. Selama bulan Juli 2019

Seperti yang terlihat pada gambar 4.27 tidak ada lonjakkan nilai terjadi diantara waktu onset dan juga event gempa bumi (1 Juli hingga 10 Juli dan 2 Juli hingga 10 Juli), oleh sebab itu onset dianggap valid dan resmi menjadi prekursor gempa bumi.

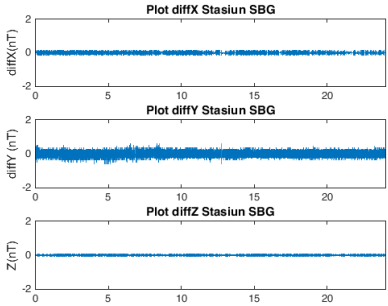



**Gambar 4. 28** Polarisasi power rasio pada tanggal 10 Juli dari stasiun MLB

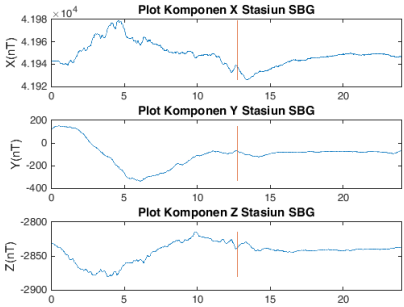
Sementara itu stasiun pengukuran MLB sendiri tidak memiliki data yang cukup (>70%) untuk diolah menjadi data prekursor yang tepat.

### 4.1.5 Gempabumi 7 Oktober 2019

Gempabumi yang terjadi pada 7 Oktober 2019 memiliki magnitude 4 Mw dengan hypocenter gempa 184,4 km dari permukaan stasiun pengukuran SBG, 60,2 km dari stasiun pengukuran MLB dan 382,8 km dari stasiun pengukuran GSI.



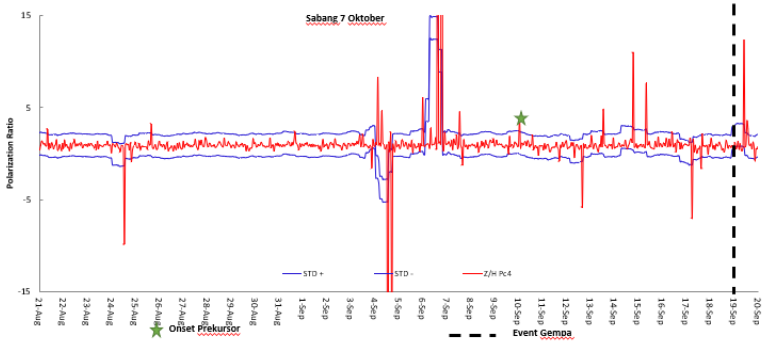

(a)




(b)

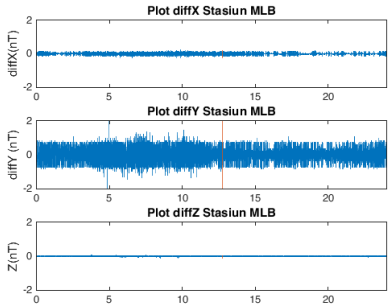
**Gambar 4. 29** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 10 September 2019 dari stasiun pengukuran SBG

Gambar 4.29 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.

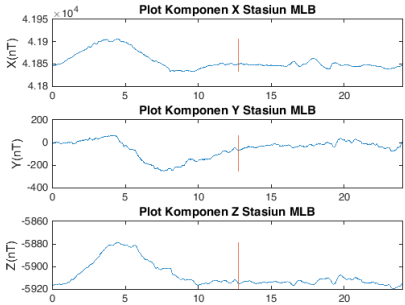



**Gambar 4. 30** Polarisasi power rasio pada tanggal 7 Oktober dari stasiun SBG

Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.30 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 10 September 2019 di stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa.



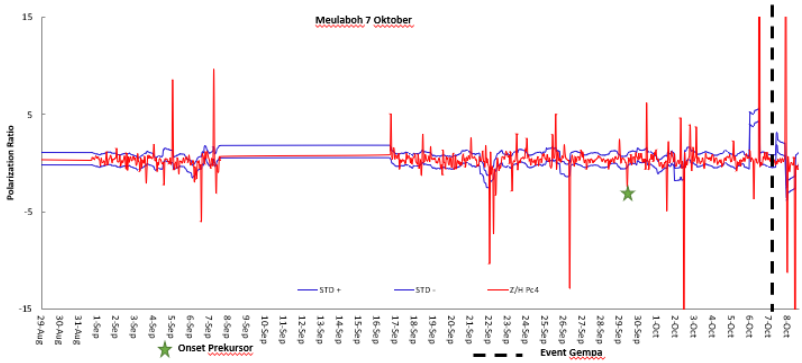

(a)




(b)

**Gambar 4. 31** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 30 September 2019 dari stasiun pengukuran MLB

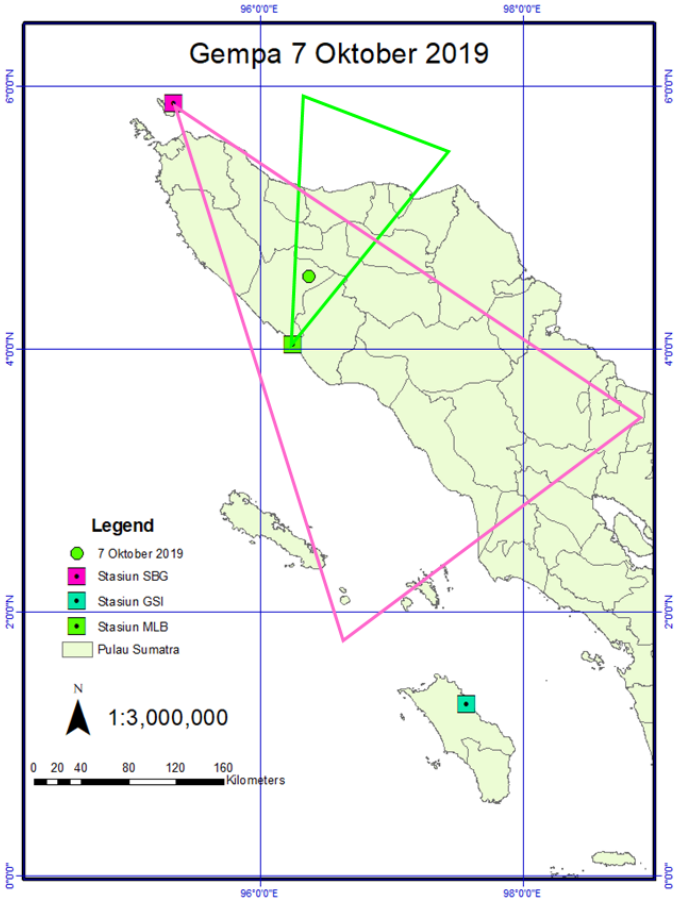
Gambar 4.31 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal




**Gambar 4. 32** Polarisasi power rasio pada tanggal 7 oktober dari stasiun MLB

Sama seperti stasiun pengukuran SBG, stasiun pengukuran MLB juga mencatat adanya anomali dalam hasil polarisasi power rasio-nya. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.32 namun setelah dicrosscheck

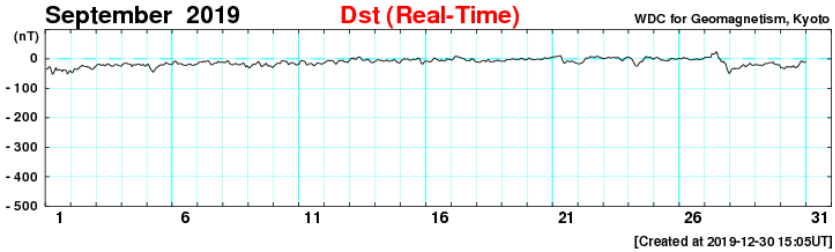
Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 30 September 2019 di stasiun pengukuran MLB terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa



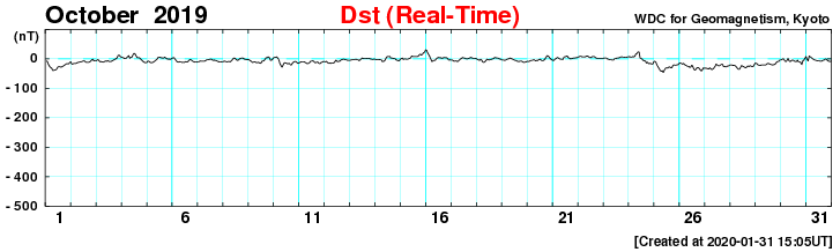

**Gambar 4. 33** Pemetaan lokasi prediksi gempa dari hasil perhitungan anomali prekursor dan gempa yang terjadi

Terlihat dari hasil pemetaan lokasi gempa dengan prediksi area terjadinya gempa bahwa anomali prekursor yang terekam pada 2 onset yang direkam oleh 2 stasiu

pengukuran yang berbeda (SBG dan MLB) pada tanggal 10 dan 30 September 2019. Anomali dari stasiun pengukuran SBG memiliki arah azimuth $150^0$ sedangkan anomali yang terekam pada stasiun MLB hanya memiliki arah azimuth $30^o$ (kedua arah anomali dihitung dalam radius lingkaran mengelilingi stasiun pengukuran dengan $0^0$ dimuali dari utara stasiun pengukuran) merupakan anomali prekursor yang valid dari gempa pada tanggal 7 Oktober 2019.



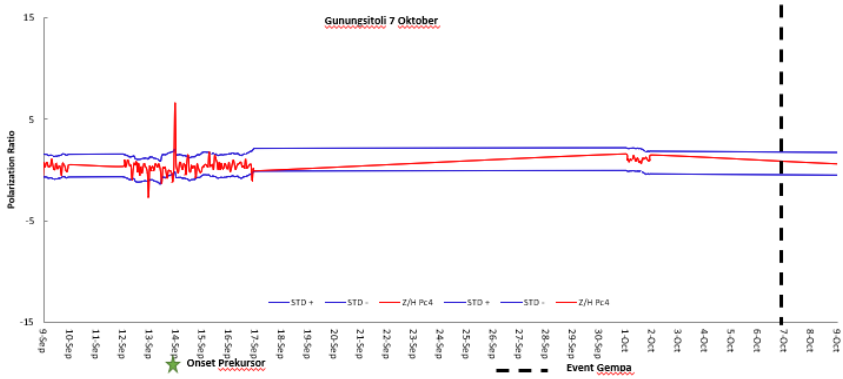

(a)




(b)

**Gambar 4. 34** Grafik indeks Dst. Selama (a) bulan September 2019 (b) bulan oktober 2019

Seperti yang terlihat pada gambar 4.34 tidak ada lonjakkan nilai terjadi diantara waktu onset dan juga event gempa bumi (10 September hingga 7 Oktober dan 30 September hingga 7 Oktober), oleh sebab itu onset dianggap valid dan resmi menjadi prekursor gempa bumi.

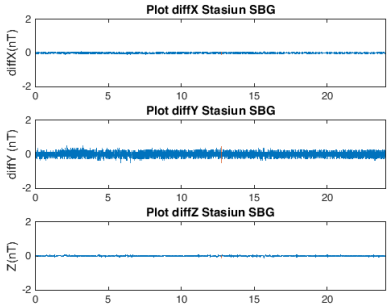



**Gambar 4. 35** Polarisasi power rasio pada tanggal 7 Oktober dari stasiun GSI

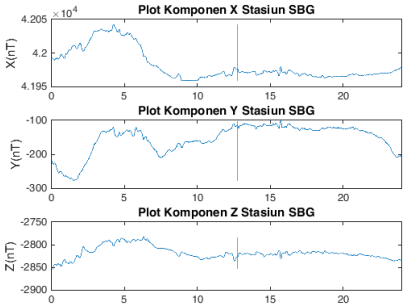
Sementara itu stasiun pengukuran GSI sendiri tidak memiliki data yang cukup (>70%) untuk diolah menjadi data prekursor yang tepat.

### 4.1.6 Gempabumi 5 Desember 2019

Gempabumi yang terjadi pada 5 Desember 2019 memiliki magnitude 4.8 Mw dengan hypocenter gempa 106,6 km dari permukaan stasiun pengukuran SBG, 130,5 km dari stasiun pengukuran MLB dan 466,1 km dari stasiun pengukuran GSI



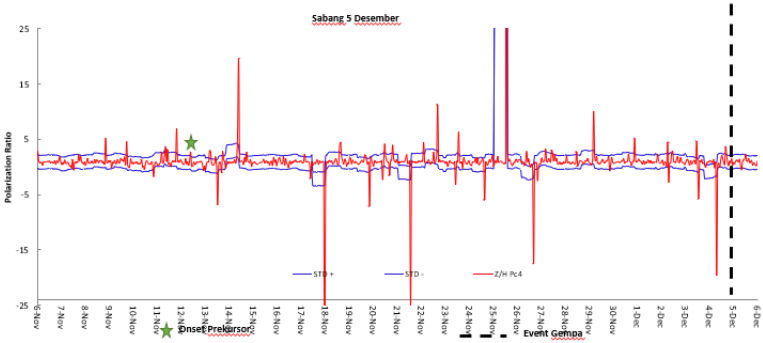

(a)




(b)

**Gambar 4. 36** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 12 November 2019 dari stasiun pengukuran SBG

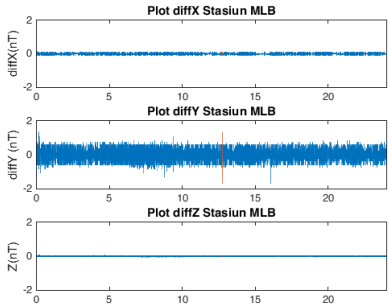
Gambar 4.36 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.



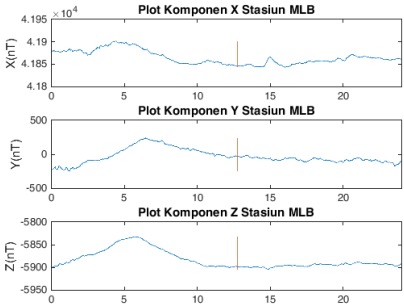

**Gambar 4. 37** Polarisasi power rasio pada tanggal 5 Desember dari stasiun SBG

Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.37 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth

dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 12 November 2019 di stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth (±22,5°) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa.



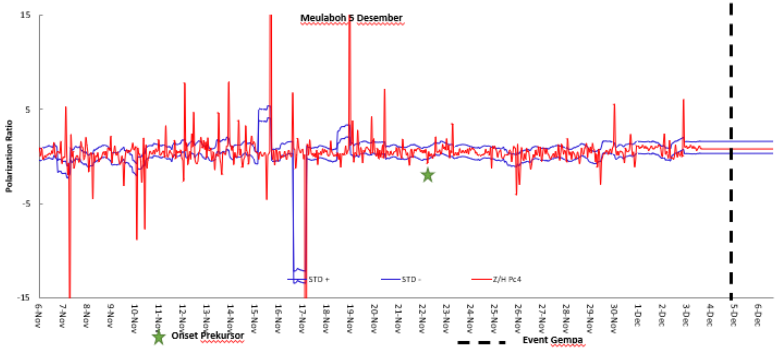

(a)



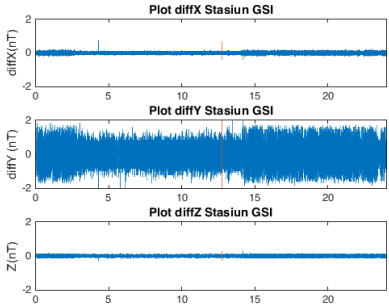

(b)

**Gambar 4. 38** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 22 November 2019 dari stasiun pengukuran MLB

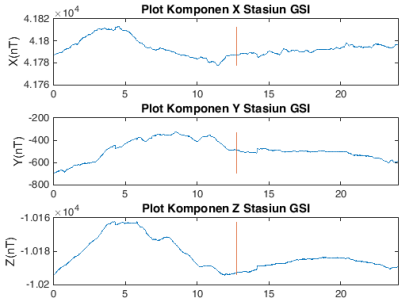
Gambar 4.38 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.




**Gambar 4. 39** Polarisasi power rasio pada tanggal 5 Desember dari stasiun MLB Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.39 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 22 November 2019 di stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth ($\pm 22{,}5°$) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa



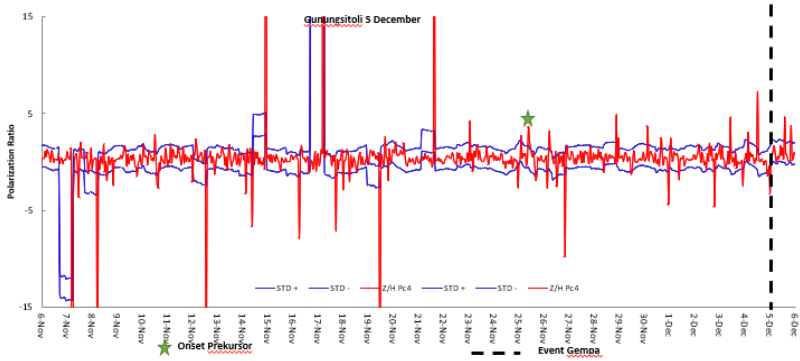

(a)




(b)

**Gambar 4. 40** Waveform pengolahan (a) differensial dan (b) raw data magnetik harian pada tanggal 25 November 2019 dari stasiun pengukuran GSI

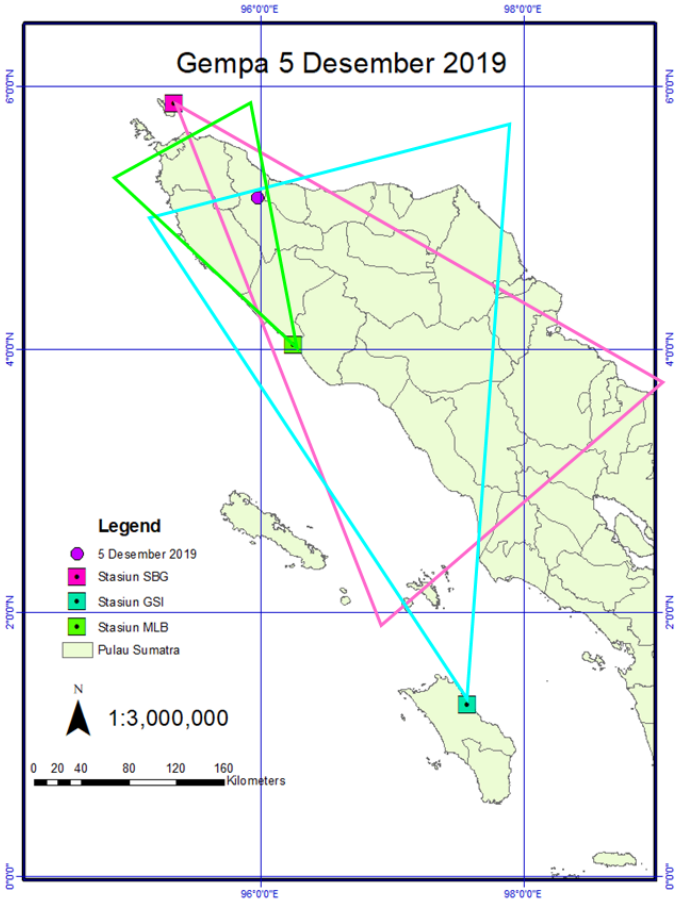
Gambar 4.40 (a) merupakan hasil proses differensial yang akan menunjukkan kualitas sinyal amplitudo anomali magnetik harian yang dominan berada pada -1nT < ambang batas < 1nT. Adapun raw data (b) terlihat dalam kualitas baik karena mengikuti pola data magnetik harian normal dan tidak banyak mendapatkan pengaruh dari gangguan eksternal.




**Gambar 4. 41** Polarisasi power rasio pada tanggal 5 Desember dari stasiun GSI

Waveform naik turun yang berada pada anomali polarisasi power ratio menujukkan adanya stress atau strain pada batuan. Umumnya lonjakkan turun diakibatkan oleh terjadinya stress sementara lonjakkan naik menandakan sedang terjadinya strain pada batuan. Ada banyak anomali yang dapat dijadikan onset pada gambar 4.41 namun setelah dicrosscheck Kembali dengan data Azimuth

dari database BMKG Jakarta, diketahui bahwa pada tanggal 25 November 2019 di stasiun pengukuran SBG terekam arah anomali yang besar azimuthnya masih dalam batas keakuratan azimuth (±22,5°) diukur dari stasiun pengukuran kearah gempa




**Gambar 4. 42** Pemetaan lokasi prediksi gempa dari hasil perhitungan anomali prekursor dan gempa yang terjadi

Terlihat dari hasil pemetaan lokasi gempa dengan prediksi area terjadinya gempa bahwa anomali prekursor yang terekam pada 3 onset yang direkam oleh seluruh stasiun pengukuran yang digunakan (SBG, MLB dan GSI) pada tanggal 12, 22 dan 25 November 2019. Anomali dari stasiun pengukuran SBG memiliki arah azimuth $120^0$, anomali yang terekam pada stasiun MLB hanya memiliki arah azimuth $325^o$ sedangkan anomaly yang terekam pada stasiun GSI memiliki arah azimuth $345^0$ (arah anomali dihitung dalam radius lingkaran mengelilingi stasiun pengukuran dengan $0^0$ dimuali dari utara stasiun pengukuran) merupakan anomali prekursor yang valid dari gempa pada tanggal 5 Desember.

## 4.2 Hasil Korelasi Kasus Gempa

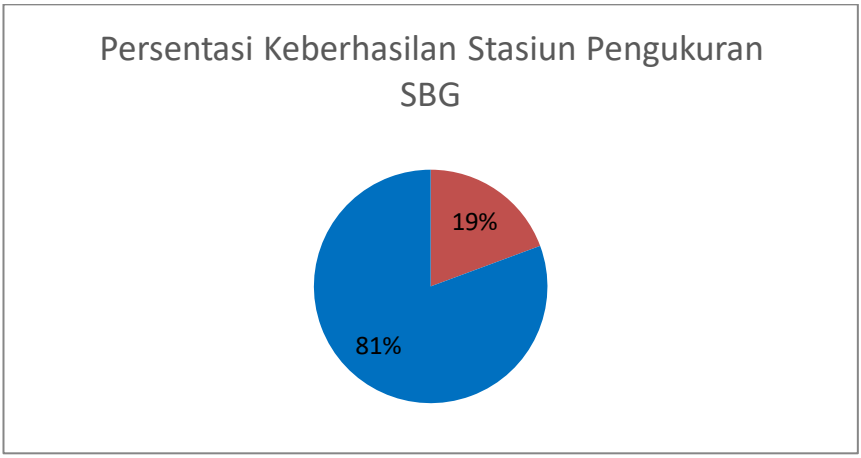
### 4.2.1 Persentasi Keberhasilan Pemantauan Prekursor Gempa

Setelah seluruh kasus gempa diproses dan ditentukan apakah ada atau tidaknya anomaly prekursor dalam data tersebut maka dapat dihasilkan hasil sebagai berikut

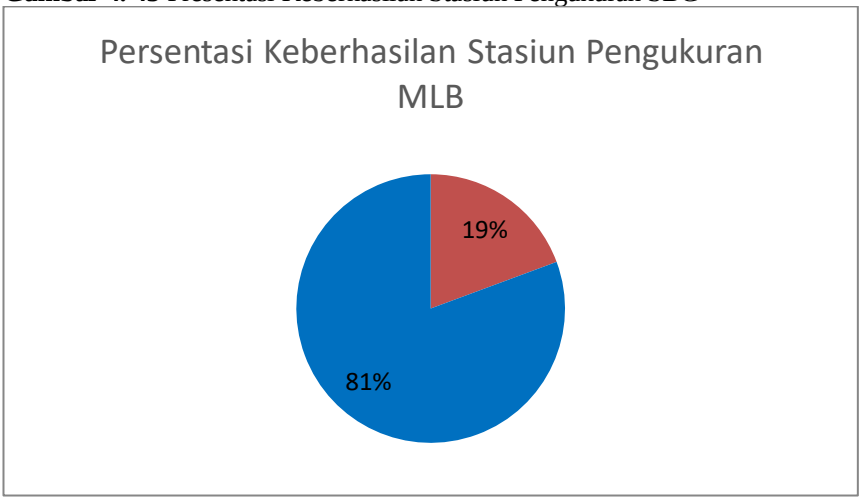
Tabel 4. 2 Data Hasil Identifikasi Prekursor Gempa Bumi

| | Data Gempa | Jumlah Data Rusak | Jumlah Data Baik | Jumlah Gempa yang tidak terindentifikasi memiliki prekursor | Jumlah Gempa yang teridentifikasi memiliki prekursor | Persentasi Keberhasilan Stasiun |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SBG | 42 | 11 | 31 | 6 | 25 | 81% |
| MLB | 42 | 11 | 31 | 6 | 25 | 81% |
| GSI | 42 | 20 | 22 | 5 | 17 | 77% |

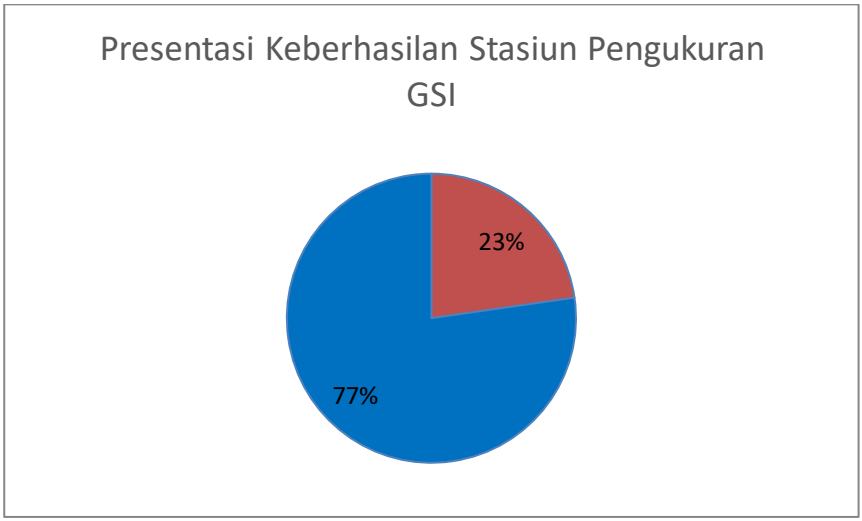
Dengan grafik persentasi sebagai berikut:




**Gambar 4. 43** Presentasi Keberhasilan Stasiun Pengukuran SBG




**Gambar 4. 44** Presentasi Keberhasilan Stasiun Pengukuran MLB




**Gambar 4. 45** Presentasi Keberhasilan Stasiun Pengukuran GSI

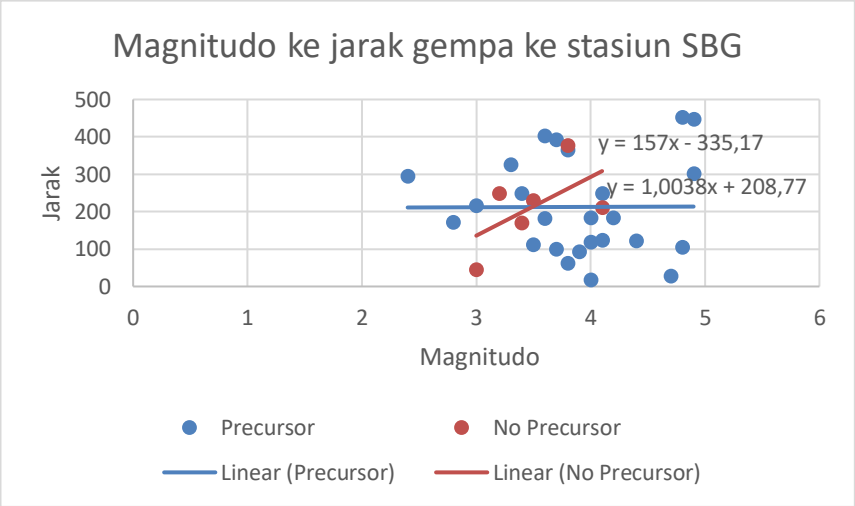
Stasiun Pengukuran SBG dan MLB mendapatkan penilaian akhir bagus, karena dari seluruh gempa yang terjadi sepanjang tahun 2019 kedua stasiun pengukuran tersebut hanya tidak dapat mengidentifikasi 6 buah anomali prekursor dari 42 kejadian gempa bumi. Sementara stasiun pengukuran GSI mendapat penilaian akhir cukup bagus karena walaupun stasiun tersebut dapat merekam data yang dapat digunakan mengidentifikasi anomaly prekursor gempa, namun kualitas pengukuran dari stasiun tersebut masih sangatlah buruk, dengan 5 bulan data yang sama sekali tidak dapat diolah.

Secara teoritis, semua data yang tidak memiliki prekursor (tidak memiliki data azimuth yang sesuai dengan ketentuan yaitu dalam cangkupan $\pm 22{,}5°$ dari data azimuth) sebetulnya dapat dianggap memiliki prekursor. Prinsip jangkauan azimuth sebetulnya dapat dibayangkan sebagai sebuah segitiga siku-siku yang memiliki sudut 90°, dengan begitu secara teoritis cangkupan dari azimuth tersebut harusnya $\pm 45°$. Namun cangkupan ini dianggap terlalu luas dan kurang

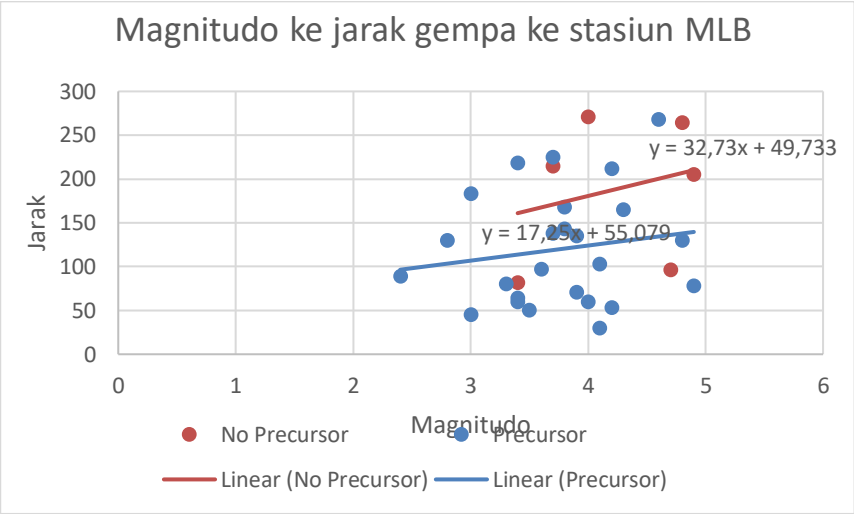
tepat untuk digunakan sebagai acuan penentuan lokasi prekursor gempa bumi, oleh sebab itu penelitian ini tetap menggunakan cangkupan acuan yaitu $\pm 22{,}5°$.

### 4.2.2 Korelasi Antara Jarak Stasiun Ke Gempa Dengan Magnitudo Gempa

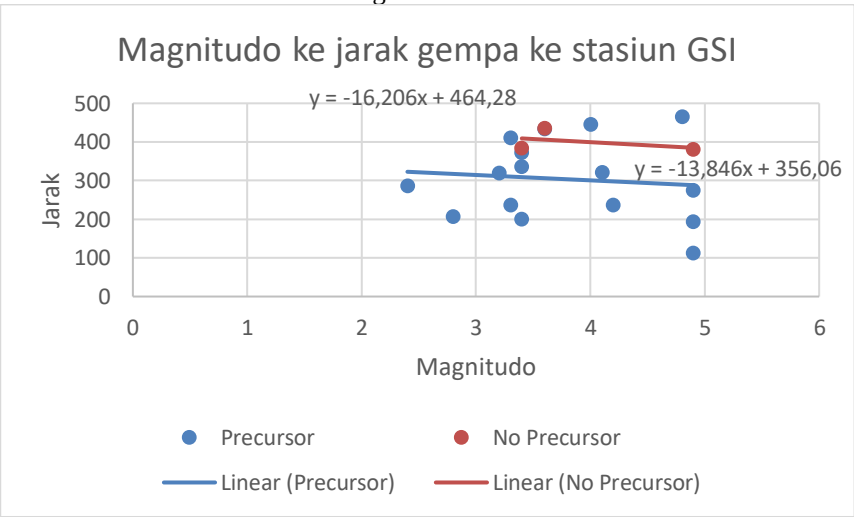
Setelah penentuan keberhasilan dari tiap stasiun pengukuran, tiap-tiap stasiun pengukuran akan diplot jarak stasiun pengukuran ke magnitude gempa baik data yang memiliki prekursor maupun data yang tidak memilii prekursor untuk mencari korelasi antar kedua data tersebut dengan hasil korelasi seperti berikut:




**Gambar 4. 46** Grafik Korelasi Magnitudo Ke Jarak SBG




**Gambar 4. 47** Grafik Korelasi Magnitudo Ke Jarak MLB




**Gambar 4. 48** Grafik Korelasi Magnitudo Ke Jarak GSI

Dilihat bahwa untuk korelasi magnitude pada jarak distasiun SBG terhadap data-data yang memiliki prekursor dengan yang tidak memiliki anomali prekursor

terdapat kecenderungan tidak adanya prekursor pada magnitude 3-4 Mw. Kecenderungan itu diduga karena anomali-anomali tersebut tersamar kemudian dianggap menjadi anomali gempa yang lain karena stasiun pengukuran SBG sendiri cenderung menemukan anomali di azimuth-azimuth tertentu saja. Hal itu memungkinkan kalau data-data yang seharusnya ditemukan prekursornya menjadi tersamar dan dianggap menjadi prekursor kasus gempa lainnya.

Untuk korelasi magnitude pada jarak distasiun MLB, tidak terlihat trend yang jelas, data yang tidak memiliki prekursor cenderung tersebar secara acak. Oleh sebab itu data stasiun MLB dinyatakan tidak mengandung korelasi apa-apa antara hubungan magnitudo dan jarak dalam data yang memiliki prekursor maupun yang tidak terdeteksi prekursornya

Untuk korelasi magnitude pada jarak distasiun GSI antara data yang memiliki prekursor dengan yang tidak terlihat bahwa gempa yang memiliki jarak diatas 400km dari stasiun pengukuran GSI cenderung tidak dapat diperoleh data anomali prekursornya, oleh sebab itu stasiun pengukuran GSI dianjurkan untuk menjadi acuan gempa-gempa dengan jarak kurang dari 400km dari stasiun pengukuran GSI, untuk hasil yang paling optimum.

Dapat disimpulkan bahwa masing-masing stasiun memiliki keunikan masing-masing dalam pengukuran data magnetik harian, faktor-faktor eksternal seperti keadaan bungker alat MAGDAS dan keadaan sekitar stasiun pengukuran dapat menjadi penyebab mengapa adanya perbedaan dalam korelasi ini.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# BAB V
# KESIMPULAN

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penelitian, maka dapat disimpulkan beberapa hasil sebagai berikut

1. Dari 42 kejadian gempa sepanjang tahun 2019 diProvinsi Nanggroe Aceh Darussalam, 3 stasiun pengukuran yang mengelilingi provinsi Nanggroe Aceh Darussalam yaitu SBG (Sabang), MLB (Meulaboh), dan GSI (Gunungsitoli) masing-masing merekam anomali prekursor dari total seluruh kejadian gempa sebanyak:
   Stasiun Pengukuran SBG: 81%
   Stasiun Pengukuran MLB: 81%
   Stasiun Pengukuran GSI: 77%
2. Stasiun pengukuran SBG cenderung tidak menemukan anomali prekursor gempabumi dalam range magnitude 3-4 Mw tanpa mempedulikan jarak sedangkan stasiun pengukuran GSI cenderung tidak menemukan anomali prekursor gempabumi jika jarak gempa dan stasiun pengukuran sudah melebihi 400km. Berbeda dengan stasiun pengukuran SBG dan GSI, Stasiun pengukuran MLB tidak menunjukkan korelasi antara besar jarak dan magnitude terhadap ada tidaknya anomali prekursor gempabumi.
3. Mayoritas data yang terukur di Stasiun pengukuran SBG dan GSI masih dapat menghasilkan anomali prekursor, namun karena 500km terlalu jauh untuk mendapatkan data dengan validitass tinggi, maka lebih disarankan untuk tetap memakai acuan 400km sebagai jarak maksimal dari gempa menuju stasiun pengukuran

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat memberikan beberapa saran kepada pembaca maupun peneliti selanjutnya yaitu sebagai berikut

1. Melakukan plotting gempa terhadap peta geologi untuk mendapatkan zona aktif patahan

# DAFTAR PUSTAKA

Adhikari, B., 2015. HILDCAA-RELATED EFFECTS RECORDED IN MIDDLE-LOW LATITUDE MAGNETOMETERS. San Jose Campos INPE 279.

Ahadi, S., Puspito, N.T., Ibrahim, G., Saroso, S., 2014a. Determination of the onset time in polarization power ratio Z/H for precursor of Sumatra earthquake. Presented at the 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON THEORETICAL AND APPLIED PHYSICS 2013 (ICTAP 2013), Malang, East Java, Indonesia, pp. 75–78. https://doi.org/10.1063/1.4897108

Ahadi, S., Puspito, N.T., Ibrahim, G., Saroso, S., 2014b. Determination of the onset time in polarization power ratio Z/H for precursor of Sumatra earthquake. Presented at the 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON THEORETICAL AND APPLIED PHYSICS 2013 (ICTAP 2013), Malang, East Java, Indonesia, pp. 75–78. https://doi.org/10.1063/1.4897108

Hattori, K., Serita, A., Yoshino, C., Hayakawa, M., Isezaki, N., 2006. Singular spectral analysis and principal component analysis for signal discrimination of ULF geomagnetic data associated with 2000 Izu Island Earthquake Swarm. Phys. Chem. Earth Parts ABC 31, 281–291. https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.02.034

Hayakawa, M., 2018. Earthquake Precursor Studies in Japan, in: Ouzounov, D., Pulinets, S., Hattori, K., Taylor, P. (Eds.), Geophysical

Monograph Series. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, pp. 7–18. https://doi.org/10.1002/9781119156949.ch2

Hayakawa, M., 2015. Earthquake Prediction with Radio Techniques: Hayakawa/Earthquake Prediction with Radio Techniques. John Wiley & Sons, Singapore Pte. Ltd, Singapore. https://doi.org/10.1002/9781118770368

Hayakawa, M., Schekotov, A., Potirakis, S.M., Eftaxias, K., Li, Q., Asano, T., 2015. An Integrated Study of ULF Magnetic Field Variations in Association with the 2008 Sichuan Earthquake, on the Basis of Statistical and Critical Analyses. Open J. Earthq. Res. 04, 85–93. https://doi.org/10.4236/ojer.2015.43008

Kamogawa, M., 2006. Preseismic lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling. Eos Trans. Am. Geophys. Union 87, 417. https://doi.org/10.1029/2006EO400002

McCaffrey, R., 2009. The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 37, 345–366. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100212

Pakpahan, S., Nurdiyanto, B., Ngadmanto, D., 2014. ANALISIS PARAMETERGEO-ATMOSFERIK DAN GEOKIMIA SEBAGAI PREKURSOR GEMPABUMI DI PELABUHAN RATU, SUKABUMI. J. Meteorol. Dan Geofis. 15. https://doi.org/10.31172/jmg.v15i2.177

Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa 1 No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720, Sunardi, B., Sulastri, S., Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa 1 No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720, 2016. PEMANTAUAN ANOMALI

TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) BERKAITAN DENGAN KEJADIAN GEMPABUMI DI SEKITAR WILAYAH JAWA TAHUN 2015. Spektra J. Fis. Dan Apl. 1, 95–102. https://doi.org/10.21009/SPEKTRA.012.01

Rohadi, S., Sakya, A.E., 2016. PY-IONOQUAKE: SISTEM DETEKSI ANOMALI TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) UNTUK STUDI PREKURSOR GEMPA BUMI PY-IONOQUAKE: TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) ANOMALY DETECTION SYSTEM FOR EARTHQUAKE PRECURSOR STUDY 11.

Simoes, M., Avouac, J.P., Cattin, R., Henry, P., 2004. The Sumatra subduction zone: A case for a locked fault zone extending into the mantle: LFZ ALONG SUMATRA SUBDUCTION ZONE. J. Geophys. Res. Solid Earth 109. https://doi.org/10.1029/2003JB002958

Sokacana, I., Rosid, M.S., Ahadi, S., 2019. Optimum frequency identification of anomalous geomagnetic signal related to earthquake precursor in Sumatra Island. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 406, 012021. https://doi.org/10.1088/1755-1315/406/1/012021

Sunarjo, 2012. Gempa bumi.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1994. Applied geophysics, 2. ed., reprinted. ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Van Gorsel, J.T., 2018. Bibliography of the Geology of Indonesia And Surrounding Area, 7th ed, Sumatra-Sundaland. vangorselslist.com.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# LAMPIRAN

**Tabel 1** Daftar Gempa

| no | Tanggal | waktu | Latitude | Longitude | Magnitude | Depth | Stasiun SBG | | Stasiun MLB | | Stasiun GSI | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Jarak | Hiposenter ke stasiun | Jarak | Hiposenter ke stasiun | Jarak | Hiposenter ke stasiun |
| 1 | 17/01/2019 | 17:54:13 | 5.27 | 96.16 | 3.5 | 24 | 113 | 115.5206 | 138 | 140.0714 | 465 | 465.6189 |
| 2 | 22/01/2019 | 10:30:14 | 2.11 | 97.84 | 3.6 | 32 | 404 | 405.2653 | 197 | 199.5821 | 223 | 225.2843 |
| 3 | 26/01/2019 | 16:36:10 | 1.93 | 97.88 | 4.8 | 26 | 453 | 453.7455 | 264 | 265.2772 | 234 | 235.44 |
| 4 | 29/01/2019 | 06:31:33 | 3.7 | 96.86 | 4 | 73 | 19 | 75.43209 | 271 | 280.6599 | x | |
| 5 | 11/02/2019 | 17:48:23 | 5.3 | 94.64 | 3.7 | 20 | 101 | 102.9612 | 225 | 225.8871 | x | |
| 6 | 09/02/2019 | 09:21:57 | 5.43 | 95.71 | 4.3 | 154 | 65 | 167.1556 | 165 | 225.7011 | x | |
| 7 | 23/02/2019 | 22:26:23 | 3.85 | 95.83 | 3.5 | 27 | 230 | 231.5794 | 50 | 56.82429 | 342 | 343.0641 |
| 8 | 01/03/2019 | 08:04:49 | 5.47 | 95.45 | 3 | 10 | 46 | 47.07441 | 183 | 183.273 | x | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 13/03/2019 | 08:45:09 | 4.32 | 96.52 | 3 | 29 | 216 | 217.9381 | 45 | 53.53504 | 354 | 355.1859 |
| 10 | 14/03/2019 | 17:28:52 | 5.29 | 94.19 | 4.6 | 10 | 142 | 142.3517 | 268 | 268.1865 | x | |
| 11 | 22/03/2019 | 07:22:08 | 2.32 | 95.69 | 3.7 | 21 | 393 | 393.5607 | 215 | 216.0231 | 270 | 270.8154 |
| 12 | 16/04/2019 | 12:10:26 | 4.65 | 96.32 | 3.9 | 10 | 172 | 172.2905 | 71 | 71.70077 | 400 | 400.125 |
| 13 | 18/04/2019 | 21:48:07 | 1.09 | 97.05 | 3.9 | 32 | 94 | 99.29753 | 135 | 138.7408 | 472 | 473.0835 |
| 14 | 20/04/2019 | 08:43:11 | 4.22 | 96.33 | 4.1 | 29 | 212 | 213.9743 | 30 | 41.72529 | 362 | 363.1597 |
| 15 | 06/05/2019 | 18:00:29 | 4.62 | 96.22 | 3.4 | 20 | 170 | 171.1724 | 64 | 67.05222 | 396 | 396.5047 |
| 16 | 15/05/2019 | 02:29:36 | 2.1 | 96.32 | 4.2 | 10 | 430 | 430.1163 | 212 | 212.2357 | 165 | 165.3028 |
| 17 | 21/05/2019 | 18:10:45 | 0.23 | 97.2 | 3.8 | 19 | 63 | 65.80274 | 168 | 169.071 | x | |
| 18 | 26/05/2019 | 27:25.8 | 4.27 | 96.93 | 3.4 | 10 | 250 | 250.1999 | 82 | 82.60751 | 337 | 337.1483 |
| 19 | 03/06/2019 | 00:42:57 | 3.57 | 96.83 | 4.9 | 10 | 303 | 303.165 | 78 | 78.63841 | 275 | 275.1818 |
| 20 | 13/06/2019 | 07:20:34 | 4.78 | 95.8 | 3.6 | 51 | 131 | 140.5774 | 97 | 109.5901 | 434 | 436.9863 |
| 21 | 20/06/2019 | 03:10:54 | 4.72 | 96.16 | 3.3 | 18 | 157 | 158.0285 | 80 | 82 | 411 | 411.394 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 28/06/2019 | 06:31:17 | 4.5 | 96.53 | 3.4 | 28 | 200 | 201.9505 | 60 | 66.21178 | 373 | 374.0495 |
| 23 | 25/06/2019 | 08:06:18 | 3.07 | 97.95 | 3.4 | 10 | 430 | 430.1163 | 218 | 218.2292 | 201 | 201.2486 |
| 24 | 01/07/2019 | 22:58:09 | 2.19 | 96.06 | 4.9 | 49 | 413 | 415.8966 | 205 | 210.7748 | 194 | 200.0925 |
| 25 | 05/07/2019 | 17:56:15 | 5 | 95.97 | 4 | 10 | 119 | 119.4194 | 116 | 116.4302 | 446 | 446.1121 |
| 26 | 10/07/2019 | 06:52:59 | 2.16 | 97.05 | 4.9 | 42 | 447 | 448.9688 | 227 | 230.8528 | 112 | 119.6161 |
| 27 | 03/08/2019 | 12:57:48 | 2.57 | 95.83 | 4.2 | 32 | 367 | 368.3925 | 168 | 171.0205 | 237 | 239.1506 |
| 28 | 07/08/2019 | 03:44:13 | 3.23 | 96.67 | 3.3 | 31 | 326 | 327.4706 | 101 | 105.6504 | 237 | 239.0188 |
| 29 | 13/08/2019 | 00:08:46 | 5.92 | 95.58 | 4.7 | 224 | 28 | 225.7432 | 96 | 243.7047 | x | |
| 30 | 23/08/2019 | 02:22:56 | 4.52 | 96.31 | 3.6 | 10 | 183 | 183.273 | 55 | 55.9017 | 384 | 384.1302 |
| 31 | 29/08/2019 | 11:51:59 | 3.68 | 95.93 | 4.1 | 19 | 249 | 249.7238 | 50 | 53.48832 | 322 | 322.5601 |
| 32 | 16/09/2019 | 00:52:06 | 4.8 | 95.05 | 4.4 | 34 | 123 | 127.6127 | 160 | 163.5726 | 478 | 479.2077 |
| 33 | 18/09/2019 | 01:58:20 | 2.46 | 95.84 | 3.8 | 22 | 378 | 378.6397 | 218 | 219.1073 | 235 | 236.0275 |
| 34 | 07/10/2019 | 21:11:36 | 4.55 | 96.37 | 4 | 10 | 184 | 184.2715 | 60 | 60.82763 | 382 | 382.1309 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 | 10/10/2019 | 01:31:45 | 3.22 | 97.26 | 3.8 | 10 | 365 | 365.137 | 143 | 143.3492 | 219 | 219.2282 |
| 36 | 30/10/2019 | 07:05:17 | 4.92 | 95.97 | 4.1 | 10 | 125 | 125.3994 | 103 | 103.4843 | | 10 |
| 37 | 03/11/2019 | 23:24:57 | 3.28 | 95.95 | 2.4 | 10 | 295 | 295.1694 | 89 | 89.56004 | 286 | 286.1748 |
| 38 | 05/11/2019 | 12:33:05 | 4.51 | 96.31 | 4.2 | 10 | 185 | 185.2701 | 53 | 53.93515 | 381 | 381.1312 |
| 39 | 14/11/2019 | 20:08:05 | 4.32 | 95.04 | 3.7 | 83 | 173 | 191.8802 | 138 | 161.0373 | 435 | 442.8476 |
| 40 | 25/11/2019 | 11:39:59 | 3 | 96.87 | 2.8 | 22 | 173 | 174.3932 | 130 | 131.8484 | 207 | 208.1658 |
| 41 | 05/12/2019 | 09:13:51 | 5.15 | 95.98 | 4.8 | 11 | 106 | 106.5692 | 130 | 130.4646 | 466 | 466.1298 |
| 42 | 29/12/2019 | 18:21:07 | 3.97 | 96.42 | 3.2 | 76 | 250 | 261.2968 | 25 | 80.00625 | 320 | 328.9012 |

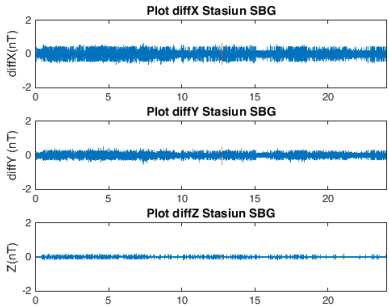
**Tabel 2** Daftar Arah Azimuth tiap anomaly prekursor yang ditemukan

| No | Tanggal | Arah Azimuth Anomali (°) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | SBG | MLB | GSI |
| 1 | 17/01/2019 | 60 | X | X |
| 2 | 22/01/2019 | 130 | X | X |
| 3 | 26/01/2019 | 130 | X | X |
| 4 | 29/01/2019 | 160 | X | X |
| 5 | 11/02/2019 | 240 | 300 | X |
| 6 | 09/02/2019 | X | 310 | X |
| 7 | 23/02/2019 | X | 260 | X |
| 8 | 01/03/2019 | X | 300 | X |
| 9 | 13/03/2019 | 150 | 45 | X |
| 10 | 14/03/2019 | 60 | 35 | X |
| 11 | 22/03/2019 | X | X | X |
| 12 | 16/04/2019 | X | 45 | X |
| 13 | 18/04/2019 | 160 | 180 | X |
| 14 | 20/04/2019 | X | 45 | X |
| 15 | 06/05/2019 | X | 10 | X |
| 16 | 15/05/2019 | X | 185 | X |
| 17 | 21/05/2019 | 170 | 120 | X |
| 18 | 26/05/2019 | 140 | X | 30 |
| 19 | 03/06/2019 | 160 | 40 | 320 |
| 20 | 13/06/2019 | X | 330 | 320 |
| 21 | 20/06/2019 | X | 345 | 330 |
| 22 | 28/06/2019 | X | 40 | 330 |
| 23 | 25/06/2019 | X | 125 | 20 |
| 24 | 01/07/2019 | X | X | 280 |
| 25 | 05/07/2019 | 120 | X | 350 |
| 26 | 10/07/2019 | 160 | X | 320 |

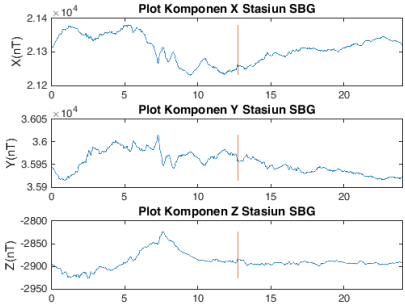
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 27 | 03/08/2019 | X | X | 310 |
| 28 | 07/08/2019 | 140 | X | 300 |
| 29 | 13/08/2019 | 70 | X | X |
| 30 | 23/08/2019 | 130 | X | X |
| 31 | 29/08/2019 | 175 | X | 280 |
| 32 | 16/09/2019 | 180 | X | X |
| 33 | 18/09/2019 | X | X | X |
| 34 | 07/10/2019 | 150 | 30 | X |
| 35 | 10/10/2019 | 125 | 120 | X |
| 36 | 30/10/2019 | 70 | 325 | 355 |
| 37 | 03/11/2019 | 160 | 240 | 300 |
| 38 | 05/11/2019 | 145 | 20 | X |
| 39 | 14/11/2019 | X | 280 | X |
| 40 | 25/11/2019 | 170 | 150 | 320 |
| 41 | 05/12/2019 | 120 | 325 | 345 |
| 42 | 29/12/2019 | X | X | 250 |

## Hasil Pengolahan Seluruh Kejadian Gempa di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam selama tahun 2019

1. 17 Januari 2019

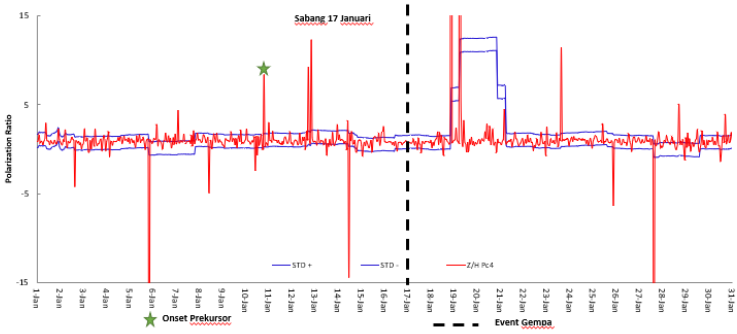


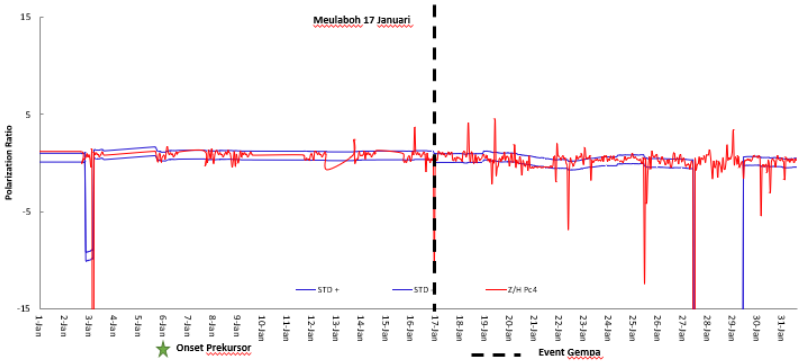

(a)

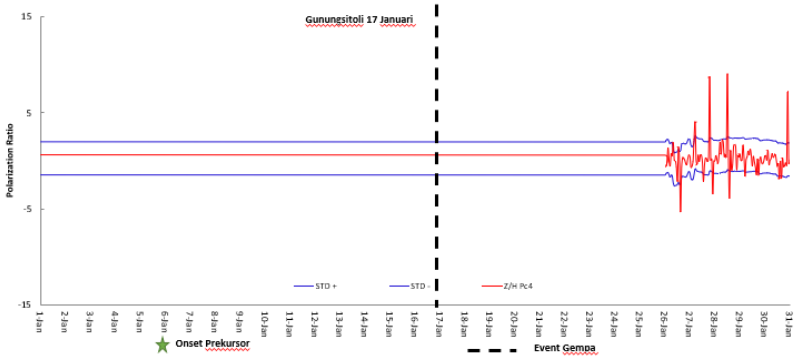



(b)

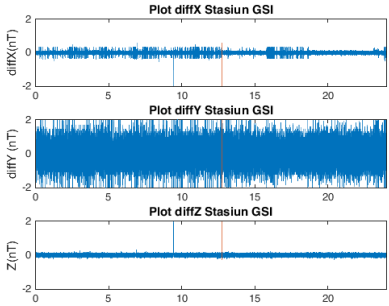
Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*


Sabang 17 Januari
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
1-Jan
2-Jan
3-Jan
4-Jan
5-Jan
6-Jan
7-Jan
8-Jan
9-Jan
10-Jan
11-Jan
12-Jan
13-Jan
14-Jan
15-Jan
16-Jan
17-Jan
18-Jan
19-Jan
20-Jan
21-Jan
22-Jan
23-Jan
24-Jan
25-Jan
26-Jan
27-Jan
28-Jan
29-Jan
30-Jan
31-Jan
Onset Prekursor
Event Gempa

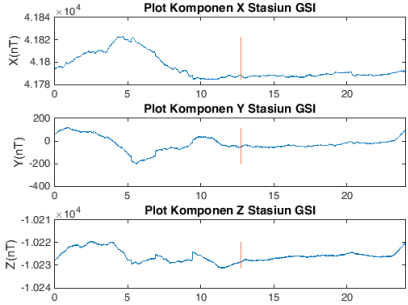

Meulaboh 17 Januari
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
1-Jan
2-Jan
3-Jan
4-Jan
5-Jan
6-Jan
7-Jan
8-Jan
9-Jan
10-Jan
11-Jan
12-Jan
13-Jan
14-Jan
15-Jan
16-Jan
17-Jan
18-Jan
19-Jan
20-Jan
21-Jan
22-Jan
23-Jan
24-Jan
25-Jan
26-Jan
27-Jan
28-Jan
29-Jan
30-Jan
31-Jan
Onset Prekursor
Event Gempa


Gunungsitoli 17 Januari
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
1-Jan
2-Jan
3-Jan
4-Jan
5-Jan
6-Jan
7-Jan
8-Jan
9-Jan
10-Jan
11-Jan
12-Jan
13-Jan
14-Jan
15-Jan
16-Jan
17-Jan
18-Jan
19-Jan
20-Jan
21-Jan
22-Jan
23-Jan
24-Jan
25-Jan
26-Jan
27-Jan
28-Jan
29-Jan
30-Jan
31-Jan
Onset Prekursor
Event Gempa

2. 22 Januari 2019

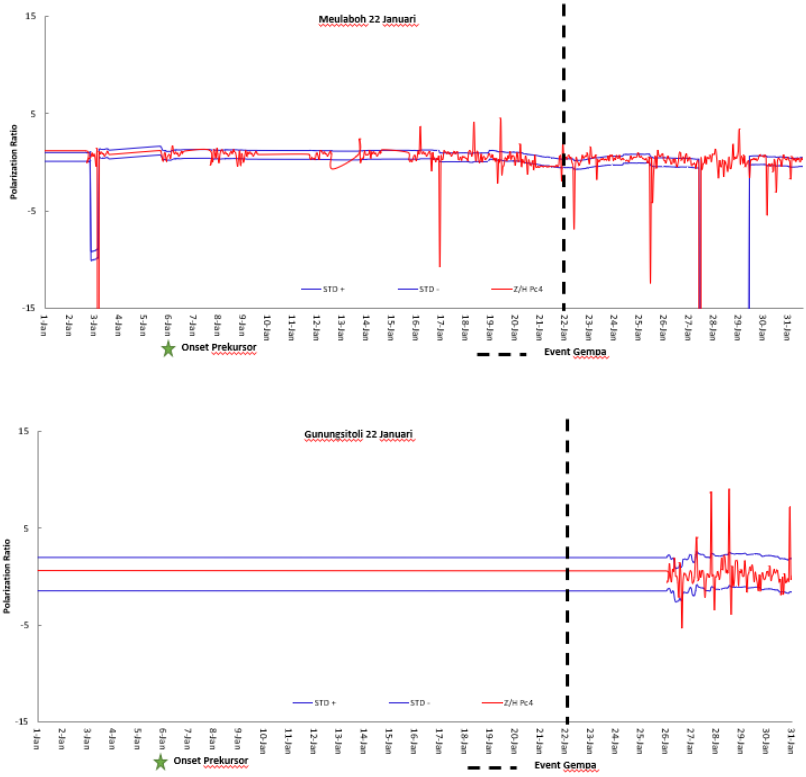



(a)



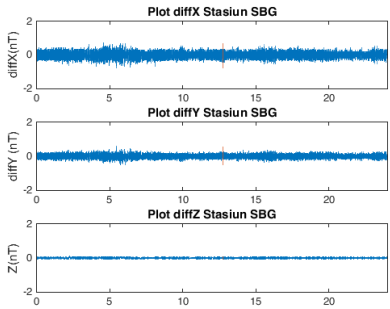

(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

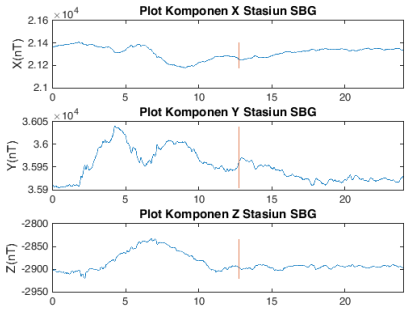



Polarisasi *power* ratio MLB dan GSI 22 Januari 2019

3. 26 Januari 2019

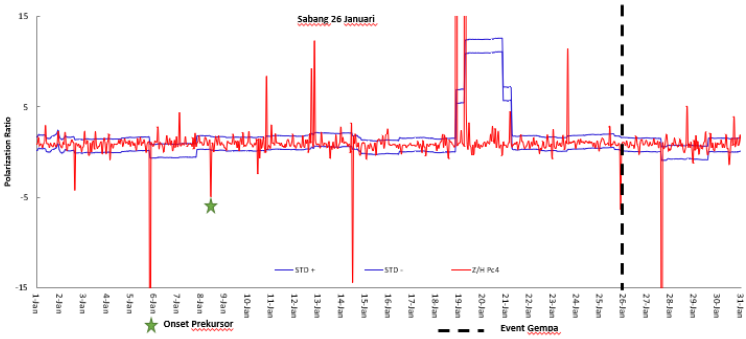


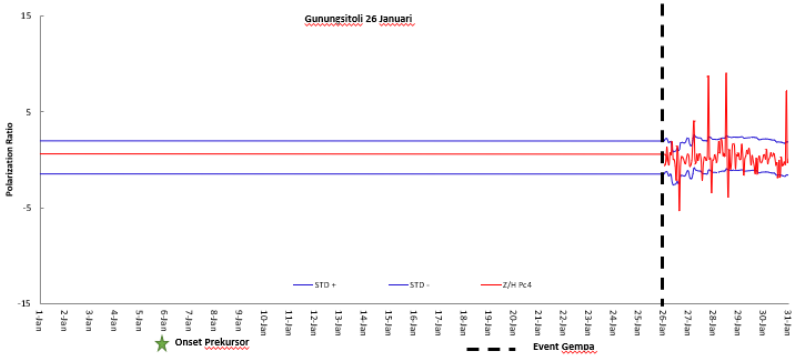

(a)

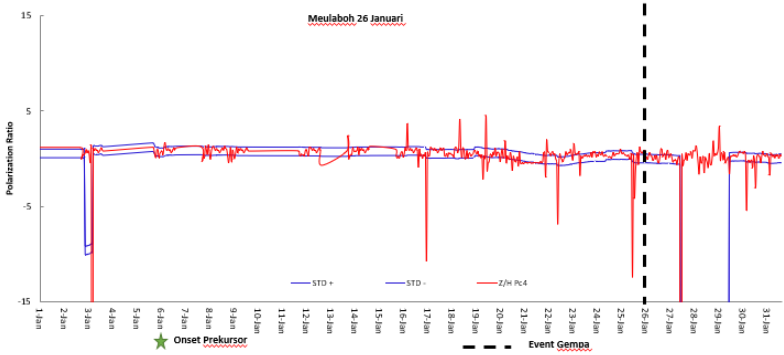



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

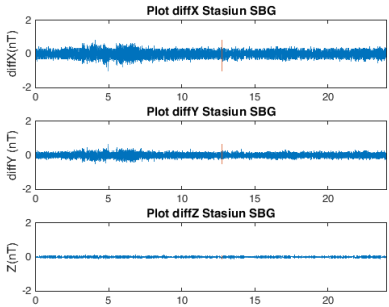

Sabang 26 Januari
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa


Gunungsitoli 26 Januari
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa

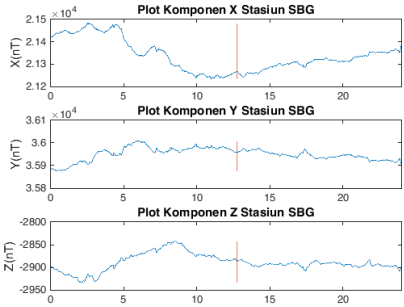



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 26 Januari 2019

4. 29 Januari 2019

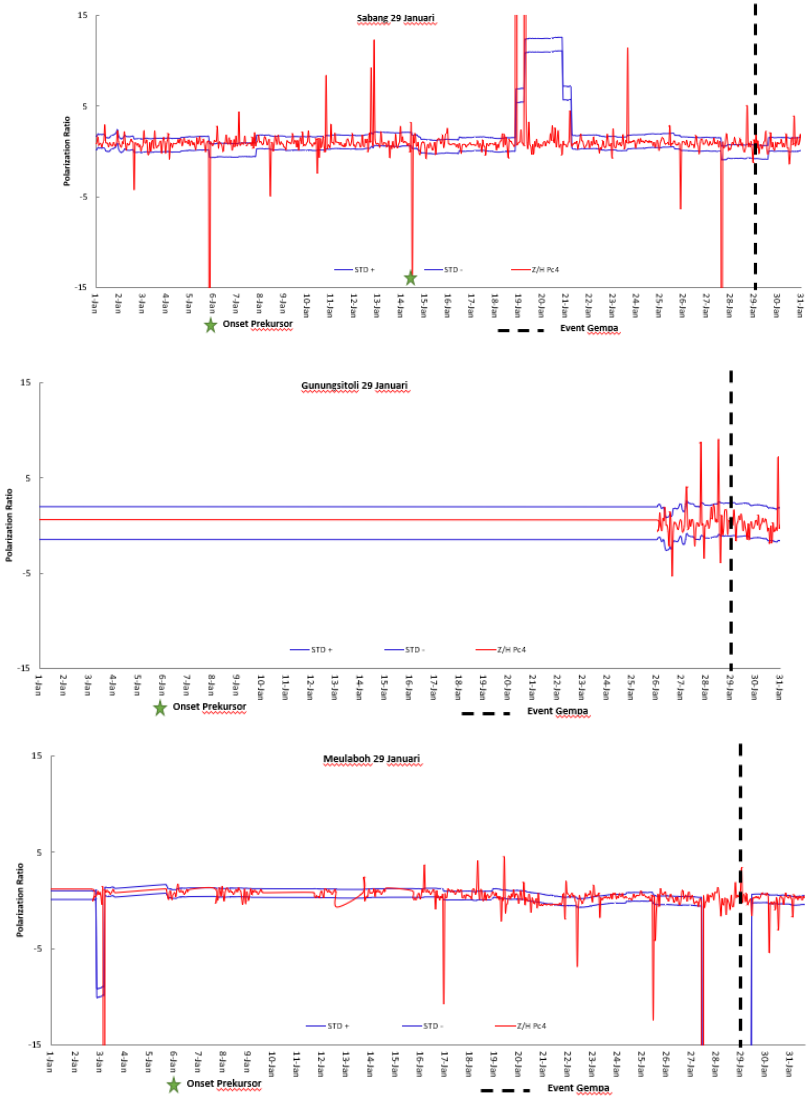



(a)



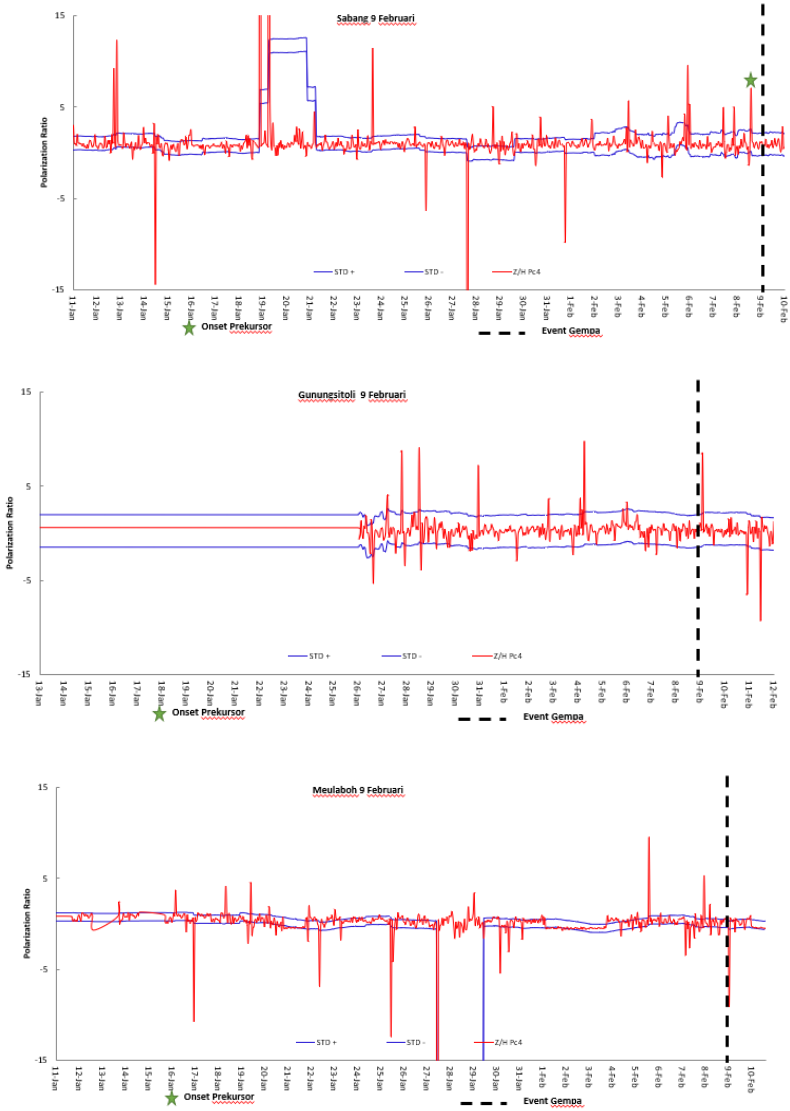

(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*



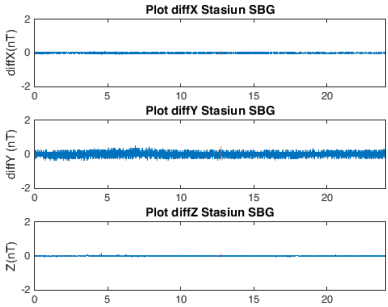

Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 29 Januari 2019

5. 9 Februari 2019

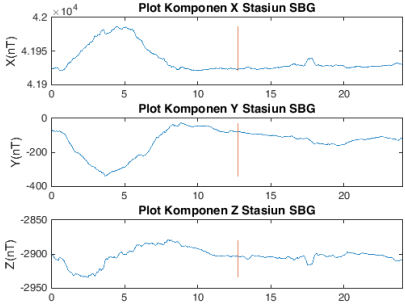



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 9 Februari 2019

6. 11 Februari 2019

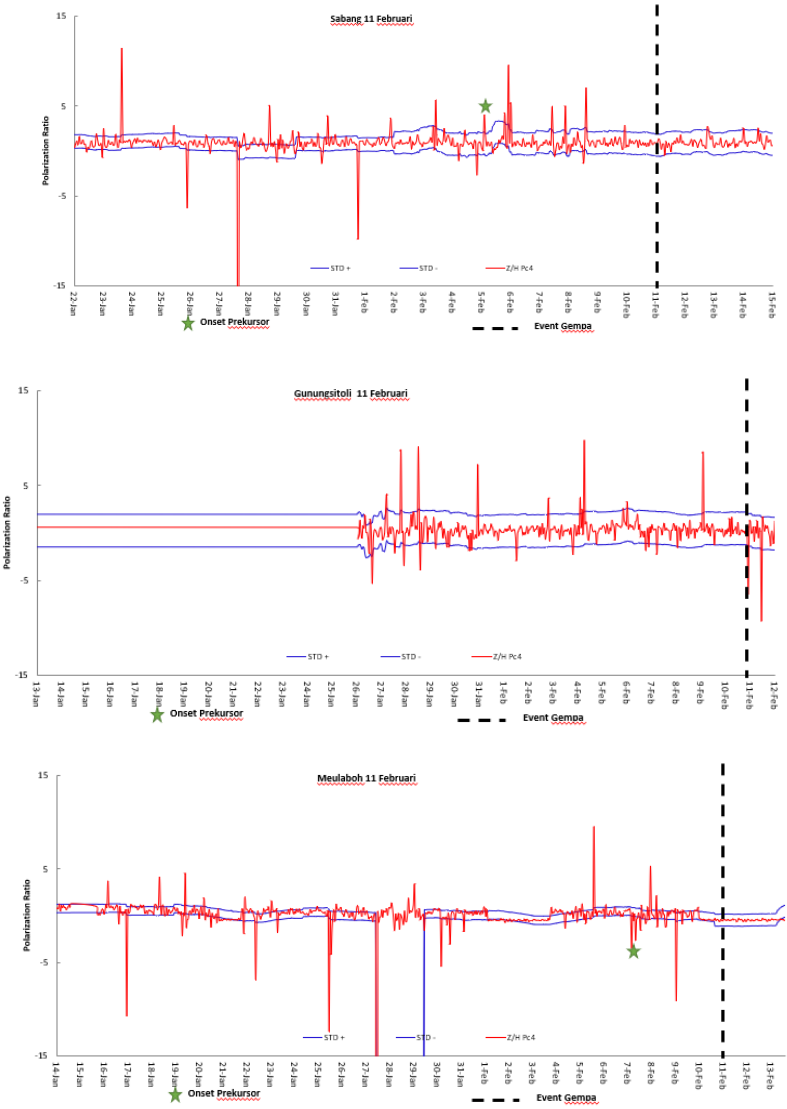



(a)



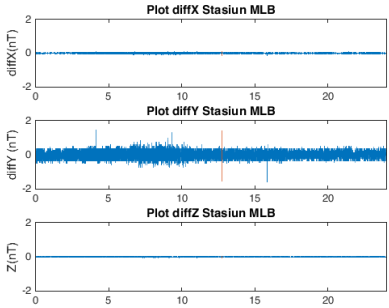

(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

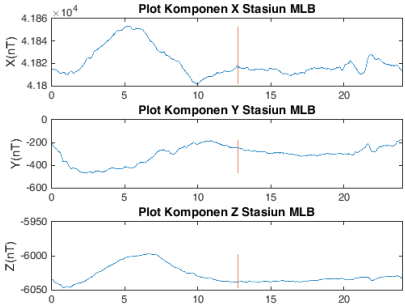



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 11 Februari 2019

7. 23 Februari 2019

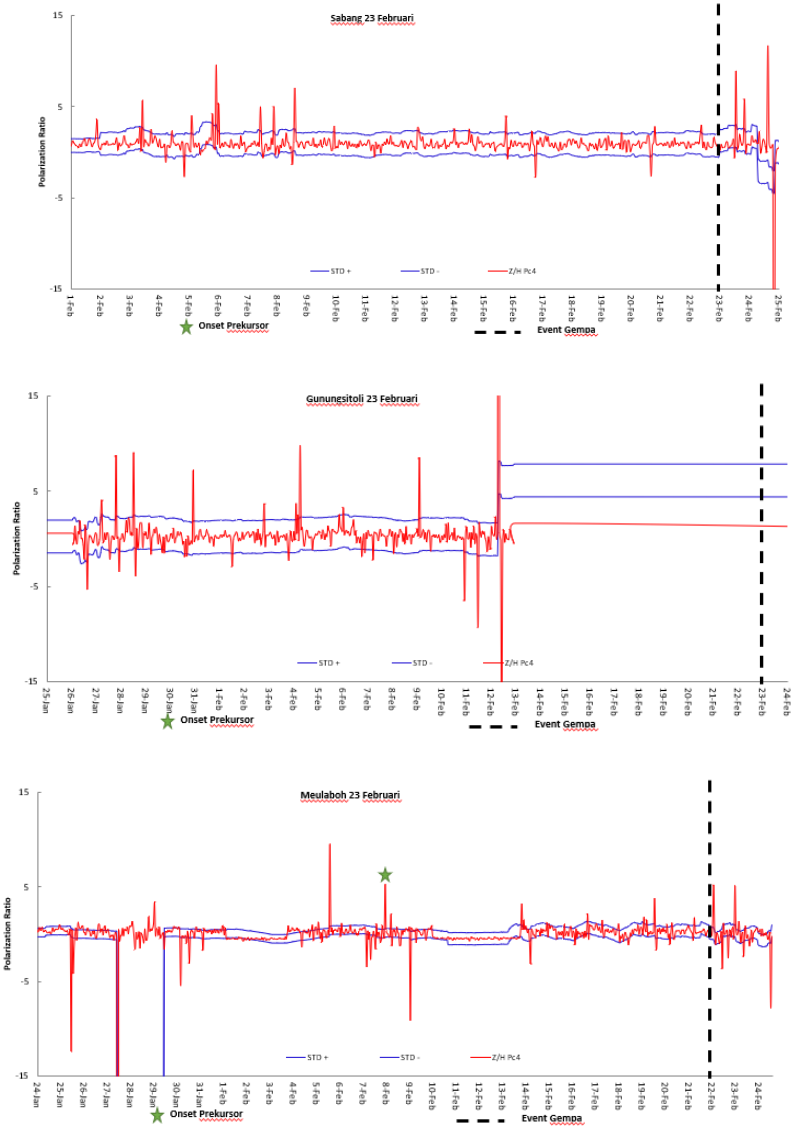



(a)



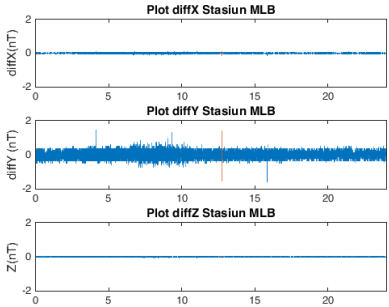

(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

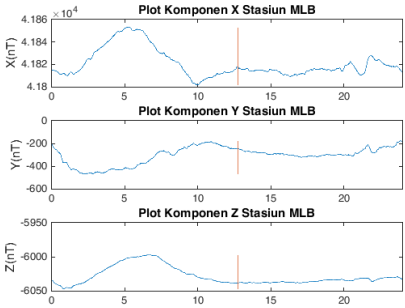



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 23 Februari 2019

8. 1 Maret 2019

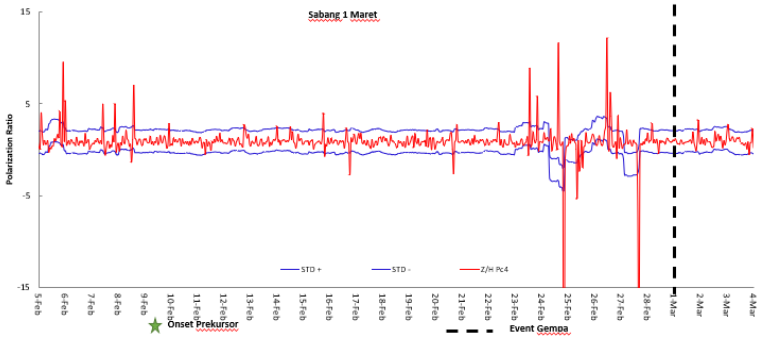


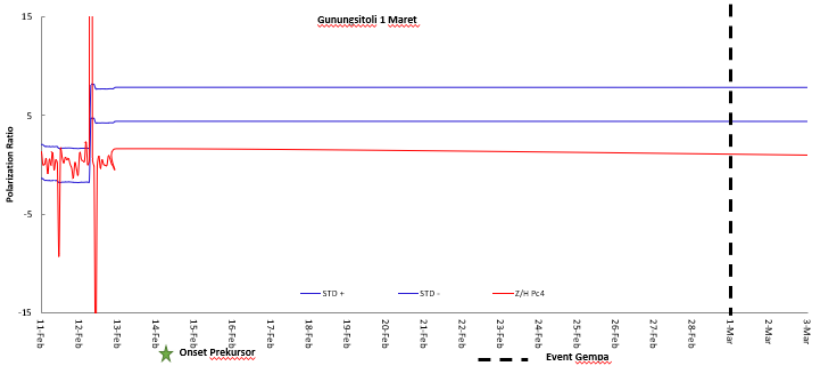

(a)

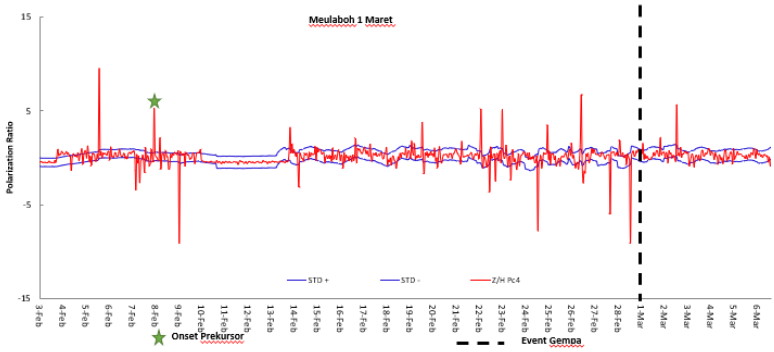



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

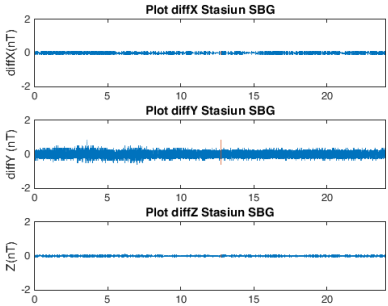

Sabang 1 Maret
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
5-Feb
6-Feb
7-Feb
8-Feb
9-Feb
10-Feb
11-Feb
12-Feb
13-Feb
14-Feb
15-Feb
16-Feb
17-Feb
18-Feb
19-Feb
20-Feb
21-Feb
22-Feb
23-Feb
24-Feb
25-Feb
26-Feb
27-Feb
28-Feb
1-Mar
2-Mar
3-Mar
4-Mar
Onset Prekursor
Event Gempa


Gunungsitoli 1 Maret
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
11-Feb
12-Feb
13-Feb
14-Feb
15-Feb
16-Feb
17-Feb
18-Feb
19-Feb
20-Feb
21-Feb
22-Feb
23-Feb
24-Feb
25-Feb
26-Feb
27-Feb
28-Feb
1-Mar
2-Mar
3-Mar
Onset Prekursor
Event Gempa

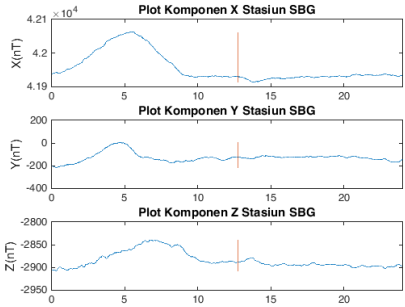

Meulaboh 1 Maret
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
3-Feb
4-Feb
5-Feb
6-Feb
7-Feb
8-Feb
9-Feb
10-Feb
11-Feb
12-Feb
13-Feb
14-Feb
15-Feb
16-Feb
17-Feb
18-Feb
19-Feb
20-Feb
21-Feb
22-Feb
23-Feb
24-Feb
25-Feb
26-Feb
27-Feb
28-Feb
1-Mar
2-Mar
3-Mar
4-Mar
5-Mar
6-Mar
Onset Prekursor
Event Gempa

Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 1 Maret 2019

9. 13 Maret 2019

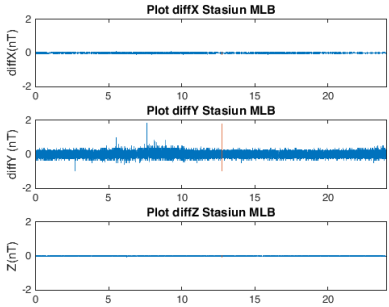



(a)

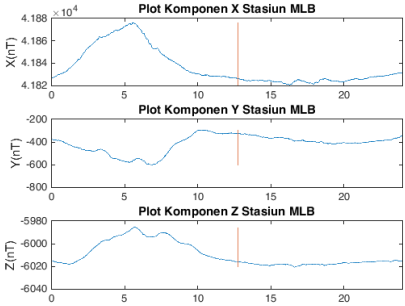



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

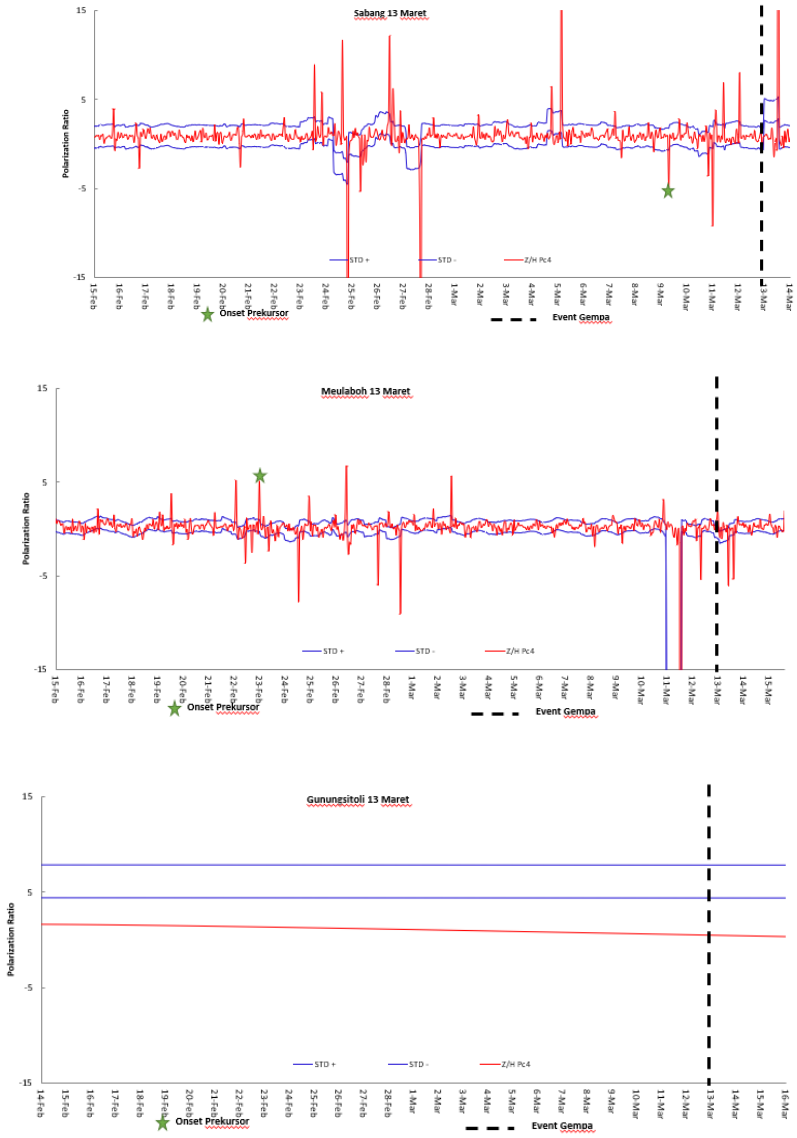



(a)



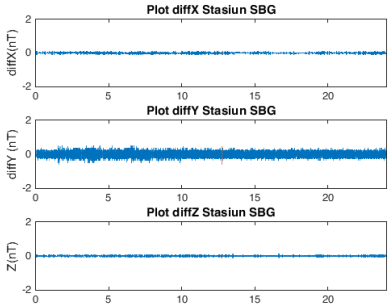

(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

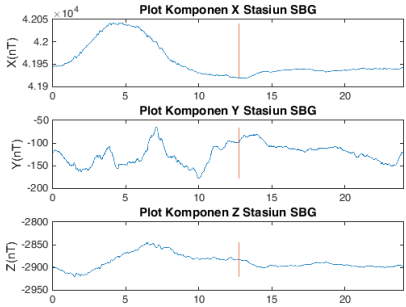



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 13 Maret 2019

10. 14 Maret 2019

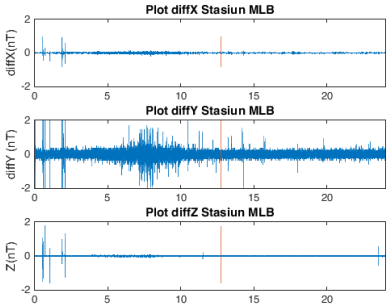



(a)

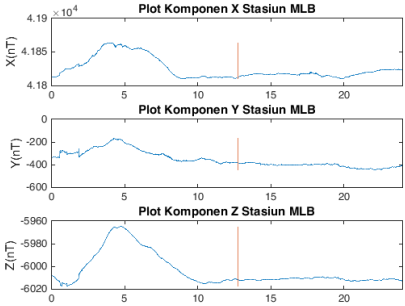



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

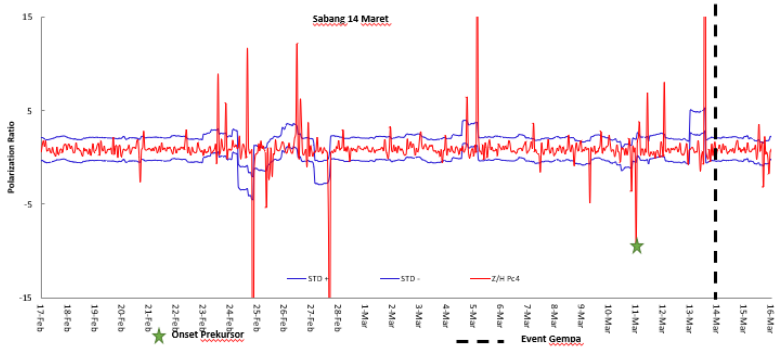


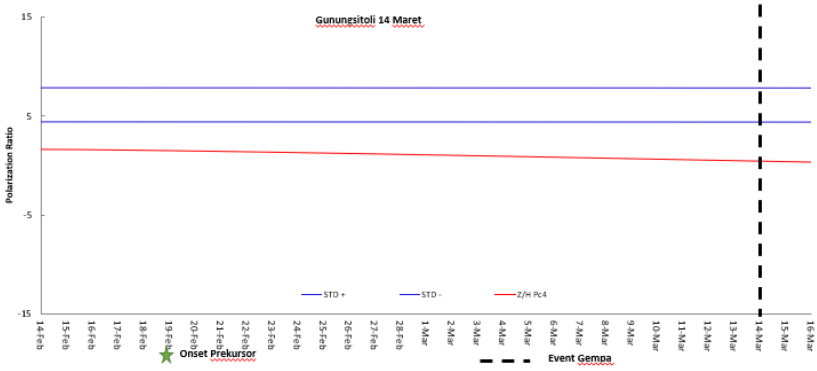

(a)

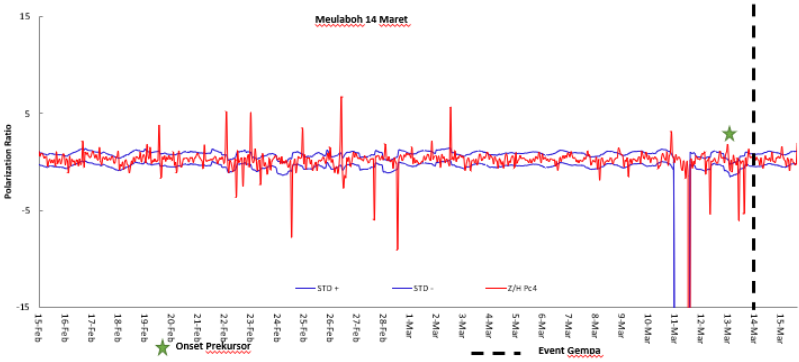



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

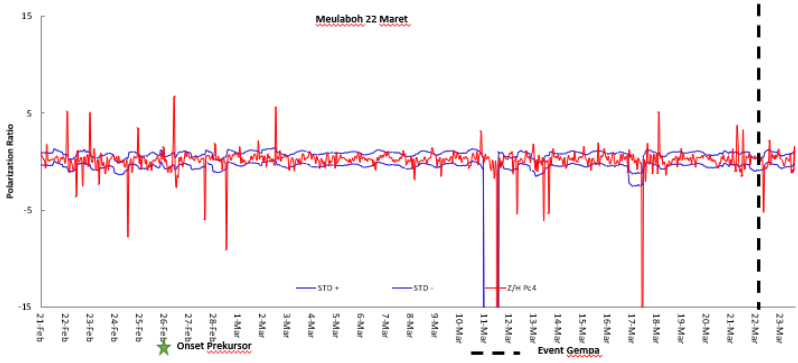

Sabang 14 Maret
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
17-Feb
18-Feb
19-Feb
20-Feb
21-Feb
22-Feb
23-Feb
24-Feb
25-Feb
26-Feb
27-Feb
28-Feb
1-Mar
2-Mar
3-Mar
4-Mar
5-Mar
6-Mar
7-Mar
8-Mar
9-Mar
10-Mar
11-Mar
12-Mar
13-Mar
14-Mar
15-Mar
16-Mar
Onset Prekursor
Event Gempa

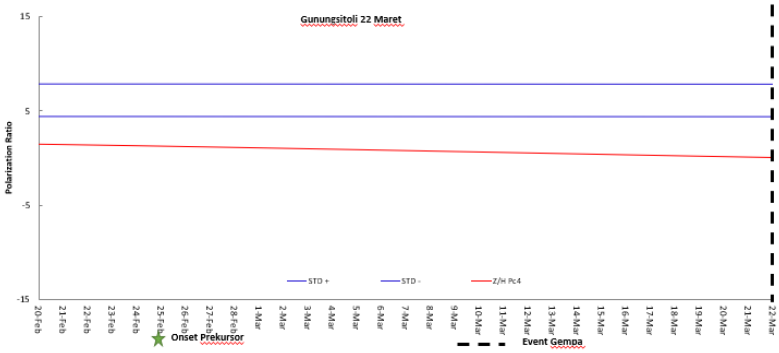

Gunungsitoli 14 Maret
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
14-Feb
15-Feb
16-Feb
17-Feb
18-Feb
19-Feb
20-Feb
21-Feb
22-Feb
23-Feb
24-Feb
25-Feb
26-Feb
27-Feb
28-Feb
1-Mar
2-Mar
3-Mar
4-Mar
5-Mar
6-Mar
7-Mar
8-Mar
9-Mar
10-Mar
11-Mar
12-Mar
13-Mar
14-Mar
15-Mar
16-Mar
Onset Prekursor
Event Gempa


Meulaboh 14 Maret
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
15-Feb
16-Feb
17-Feb
18-Feb
19-Feb
20-Feb
21-Feb
22-Feb
23-Feb
24-Feb
25-Feb
26-Feb
27-Feb
28-Feb
1-Mar
2-Mar
3-Mar
4-Mar
5-Mar
6-Mar
7-Mar
8-Mar
9-Mar
10-Mar
11-Mar
12-Mar
13-Mar
14-Mar
15-Mar
Onset Prekursor
Event Gempa

Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 14 Maret 2019

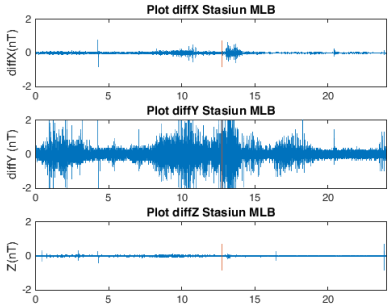
11. 22 Maret 2019



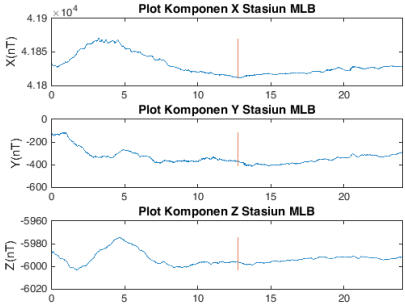




Polarisasi *power* ratio MLB dan GSI 22 Maret 2019

12. 16 April 2019

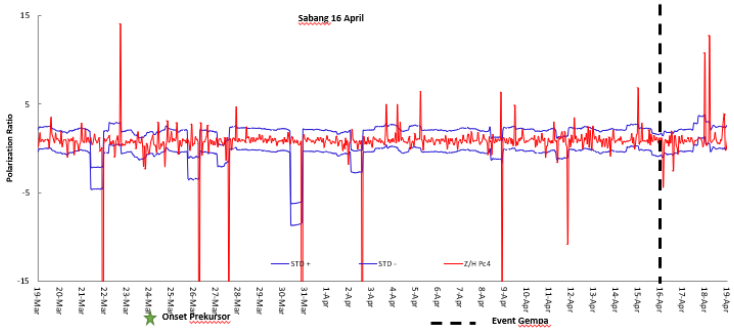


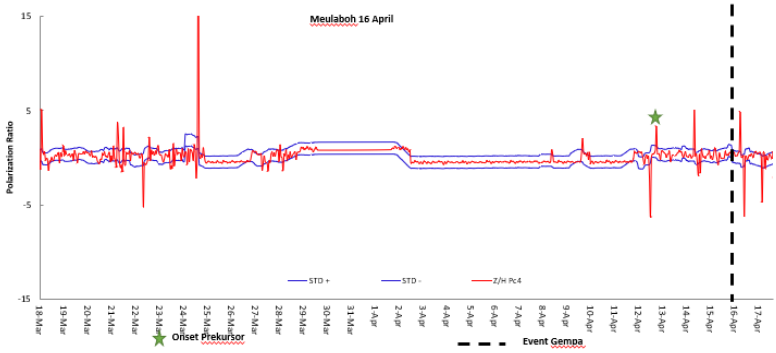

(a)

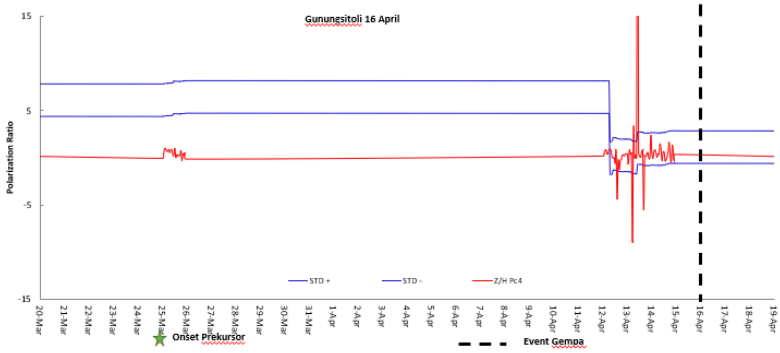



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

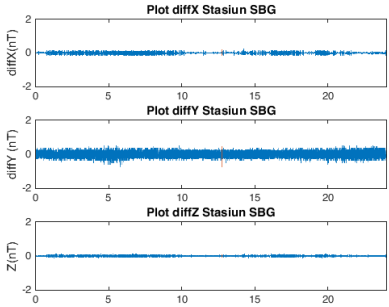

Sabang 16 April
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa


Meulaboh 16 April
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa

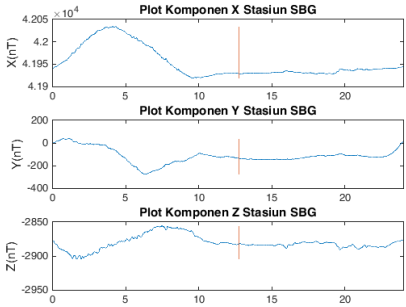

Gunungsitoli 16 April
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa

Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 16 April 2019

13. 18 April 2019

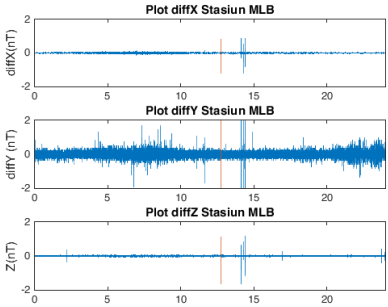



(a)

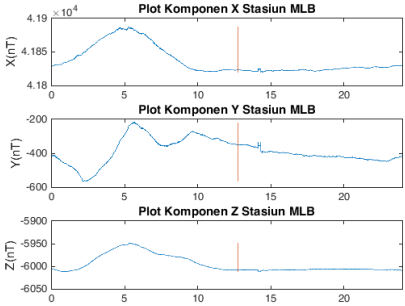



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

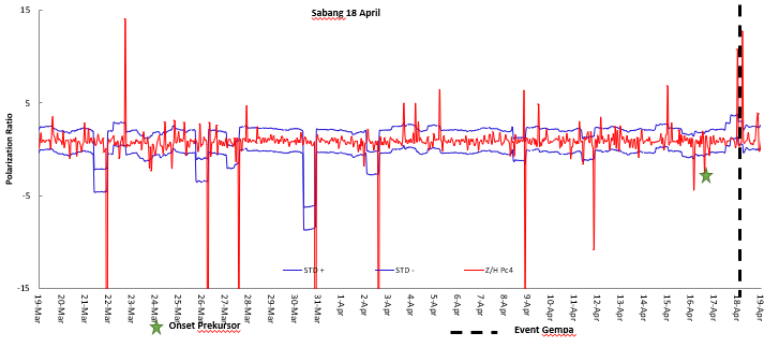


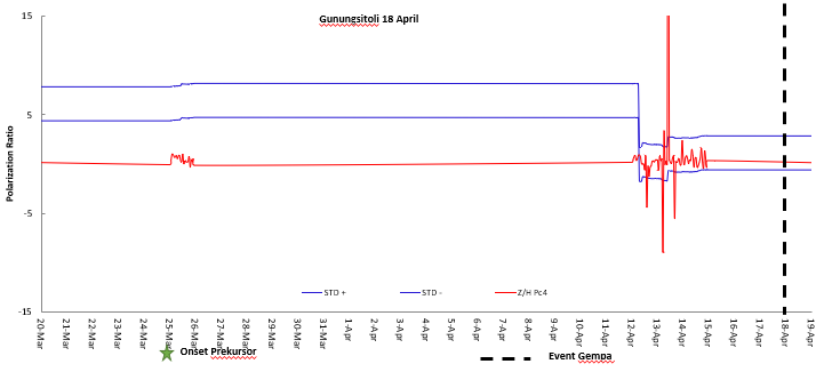

(a)

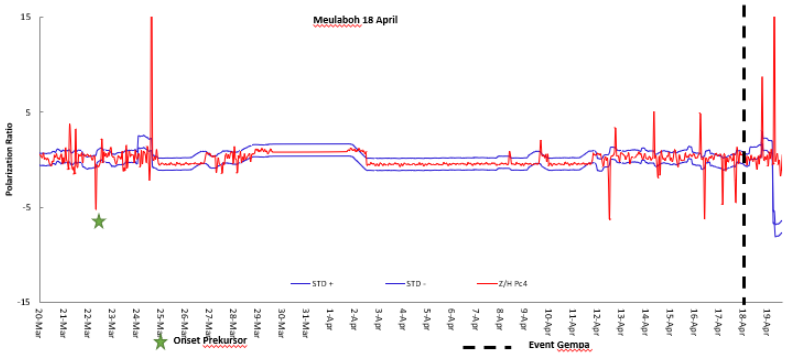



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

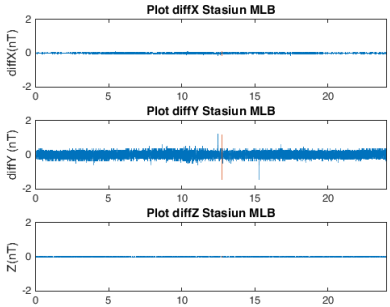

Sabang 18 April
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa


Gununegitoli 18 April
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa

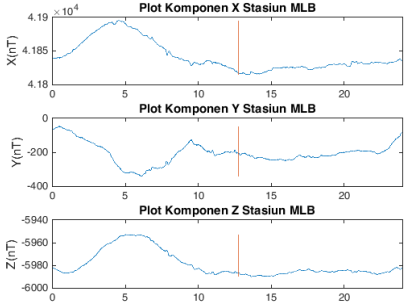



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 18 April 2019

14. 20 April 2019

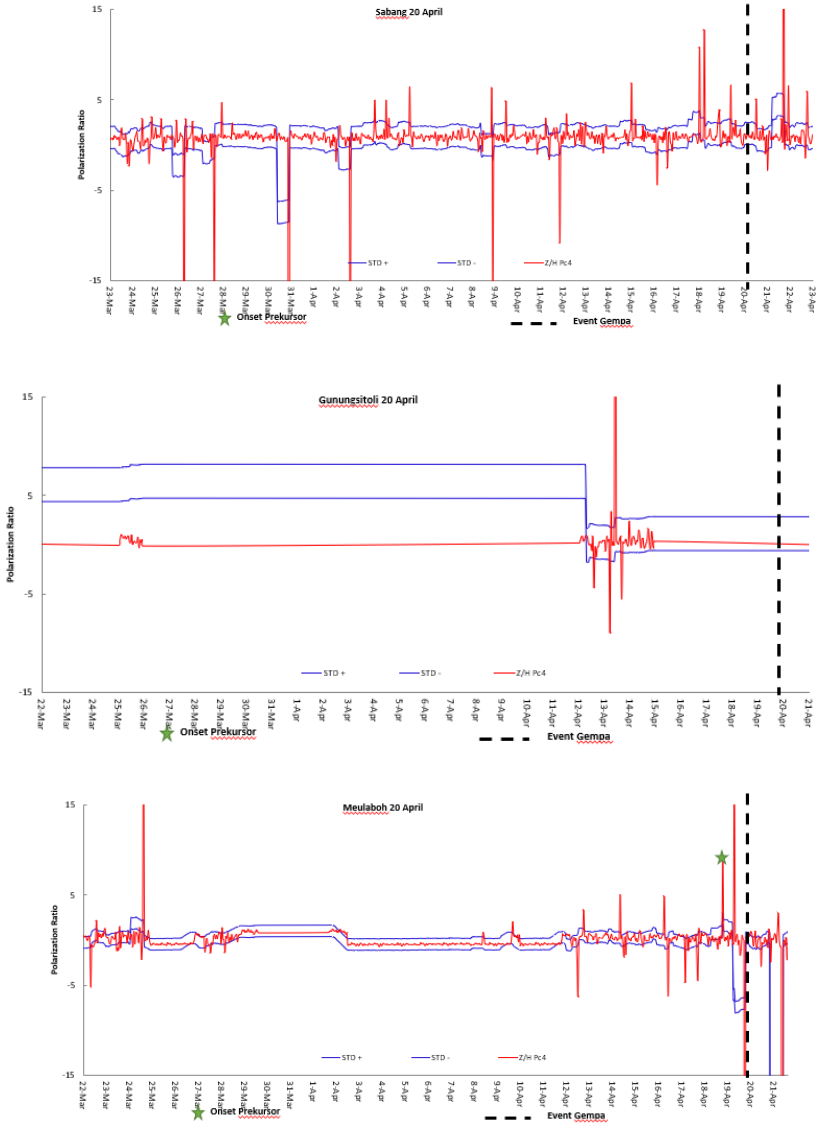



(a)



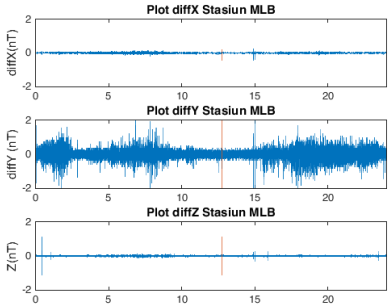

(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

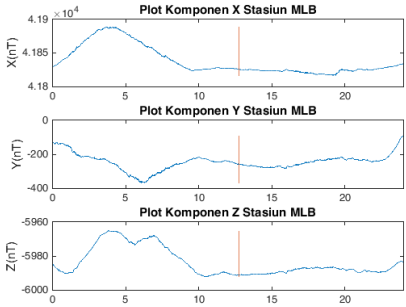



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 20 April 2019

15. 15 Mei 2019

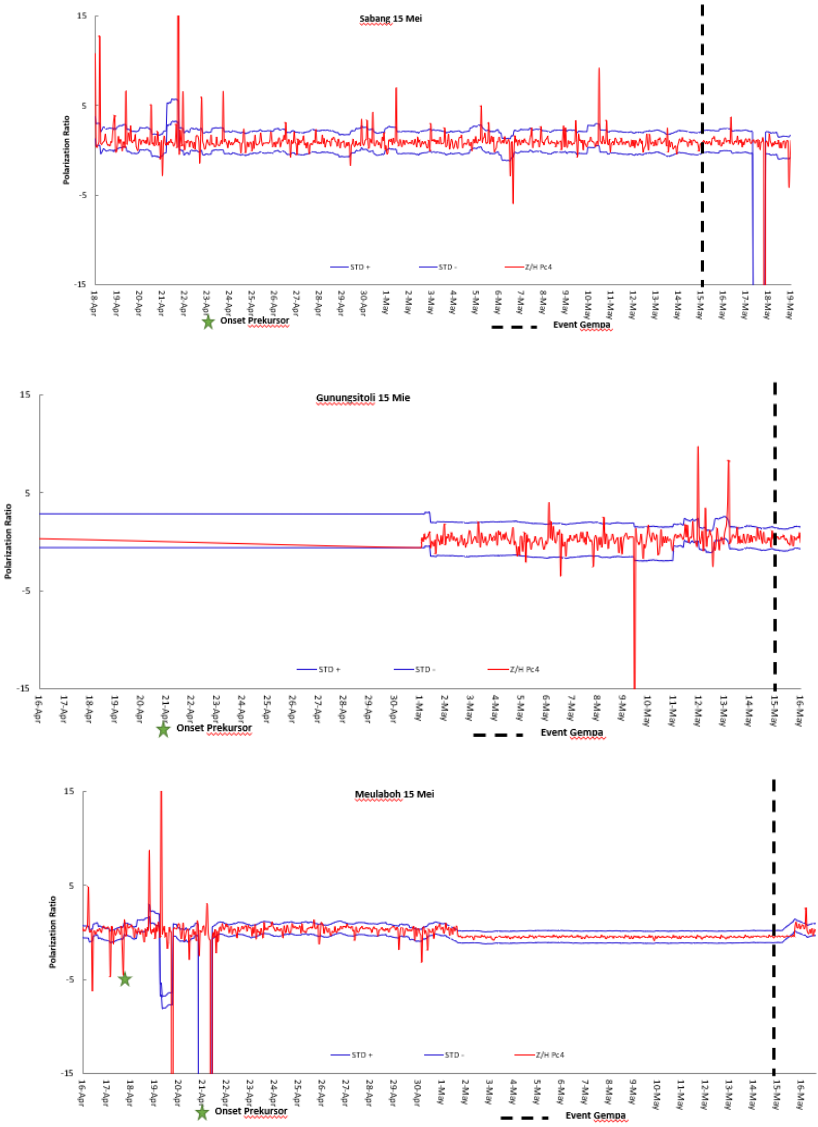



(a)



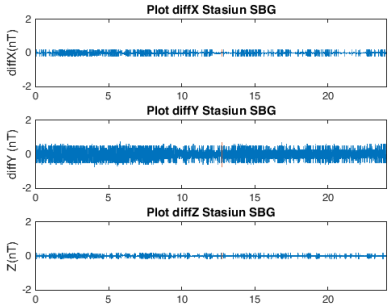

(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

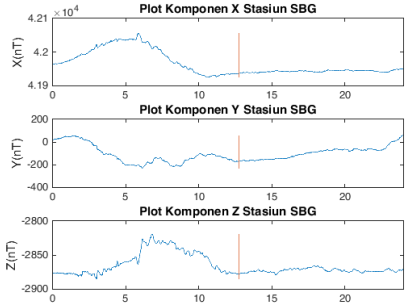



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 15 Mei 2019

16. 21 Mei 2019

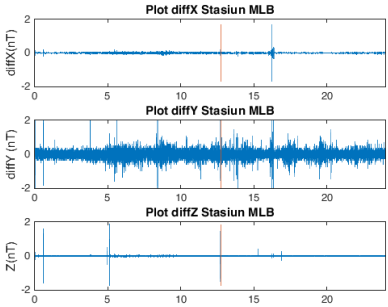



(a)

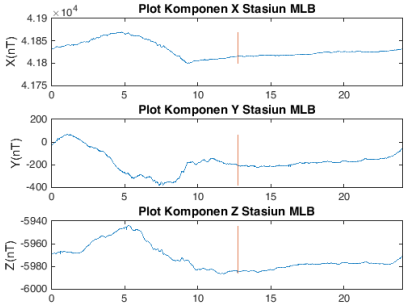



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

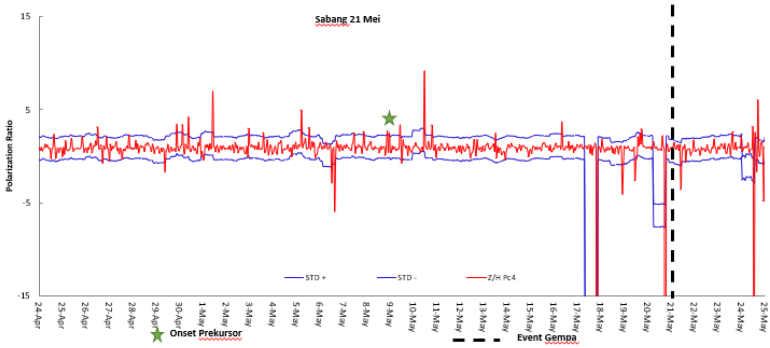


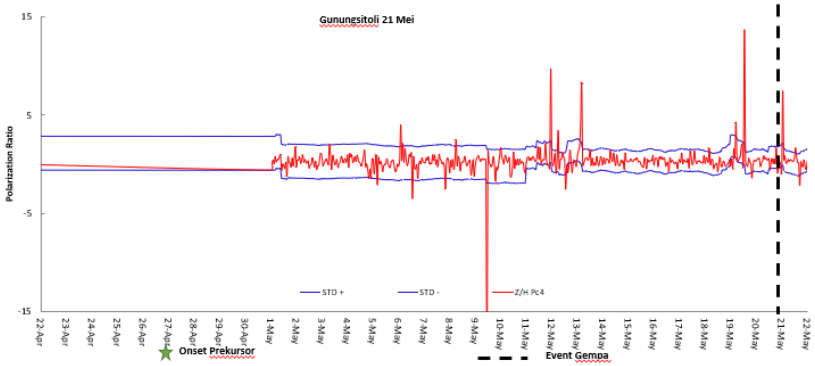

(a)

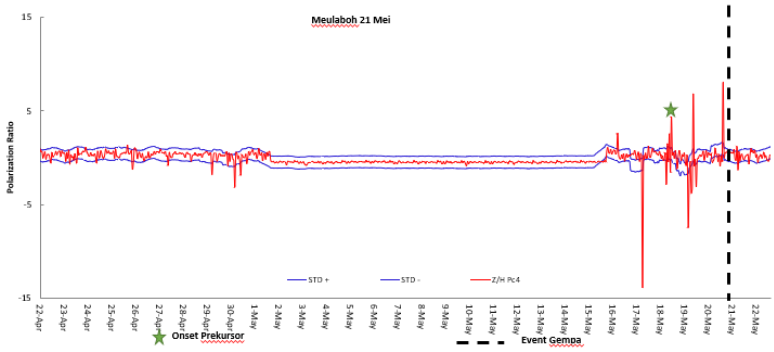



(b)

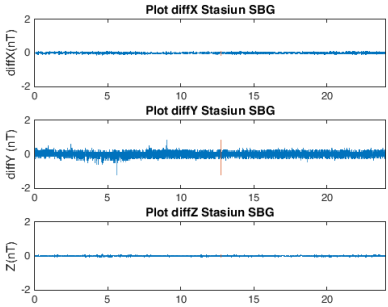
Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*


Sabang 21 Mei
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa

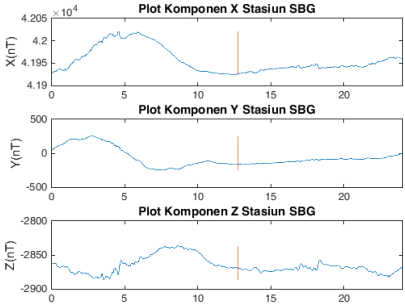

Gunungsitoli 21 Mei
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa


Meulaboh 21 Mei
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
Onset Prekursor
Event Gempa

17. 26 Mei 2019

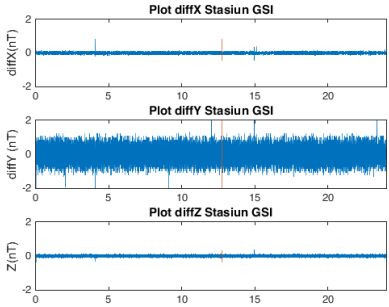



(a)

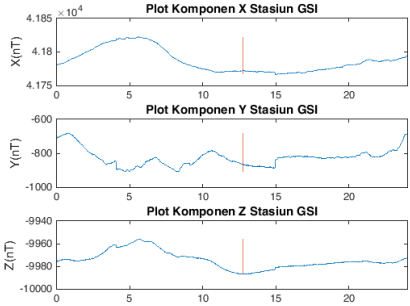



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

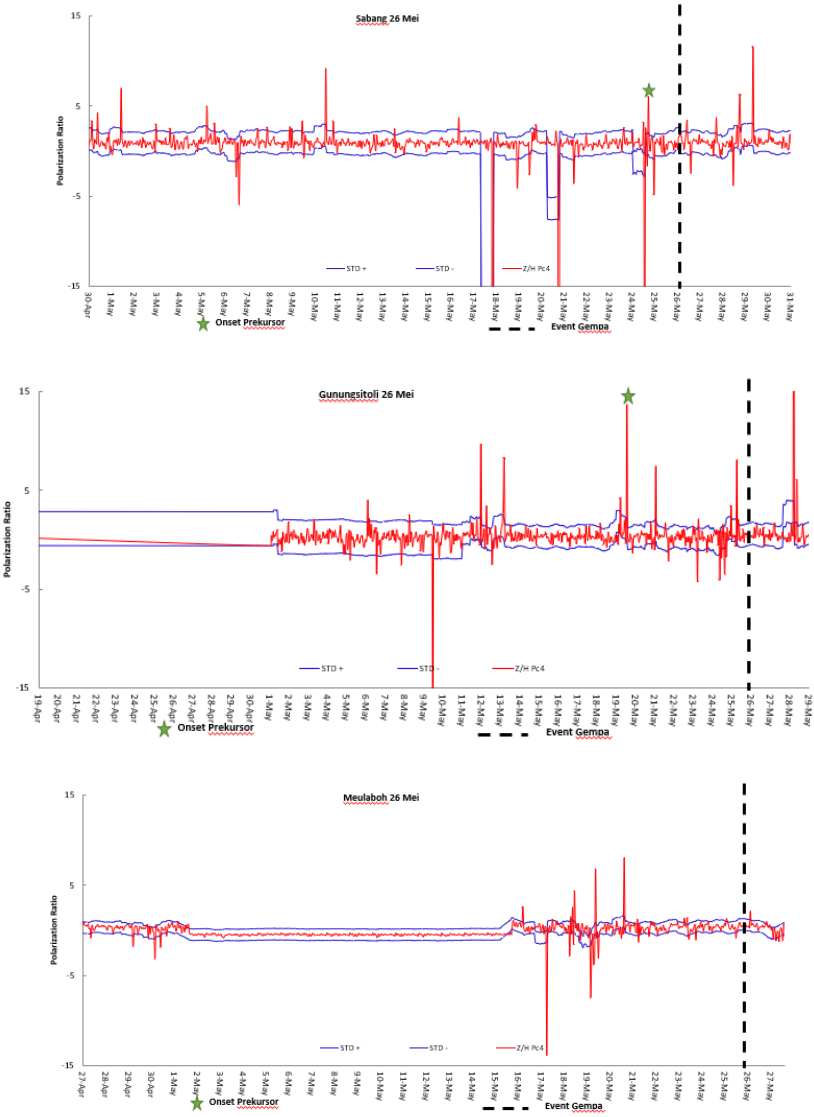



(a)



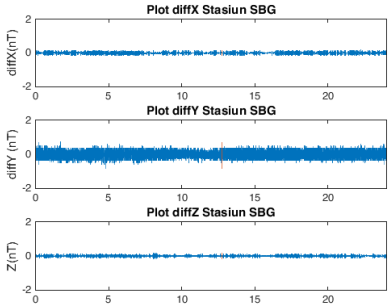

(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

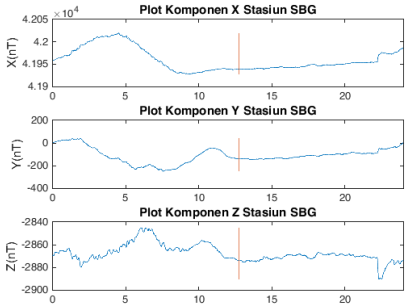



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 26 Mei 2019

18. 3 Juni 2019

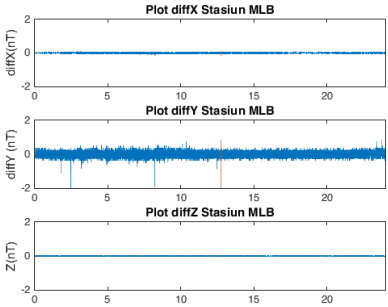



(a)

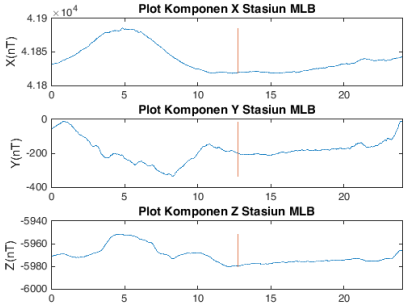



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

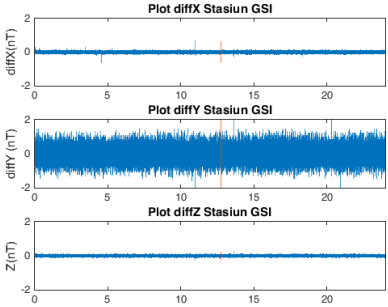



(a)

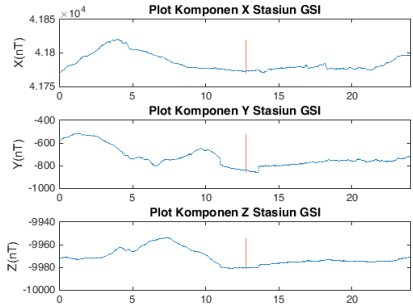



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

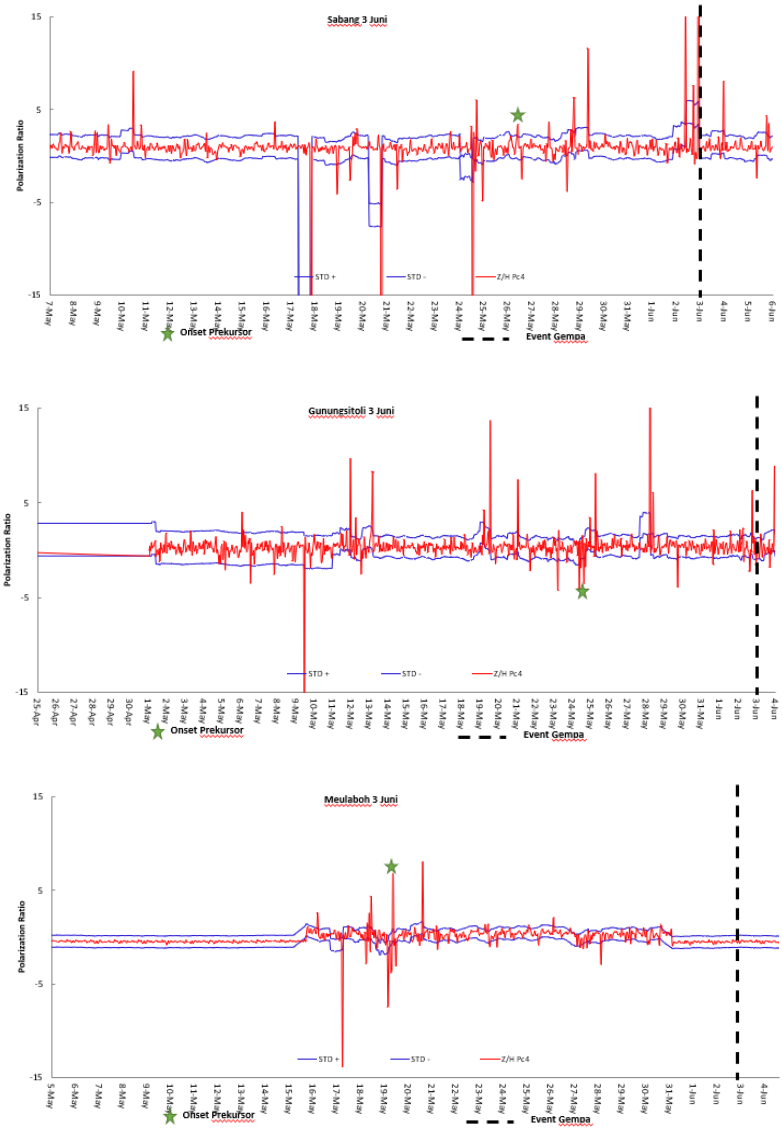



(a)



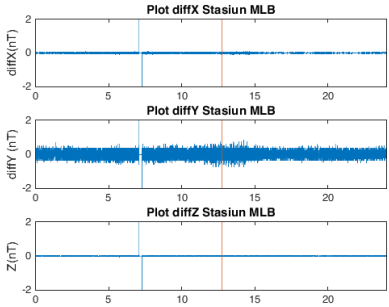

(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

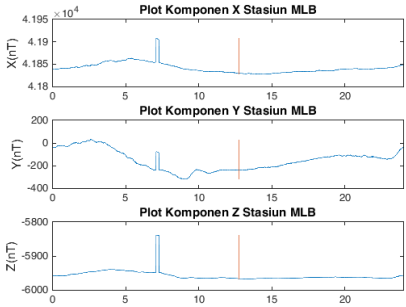



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 3 Juni 2019

19. 13 Juni 2019

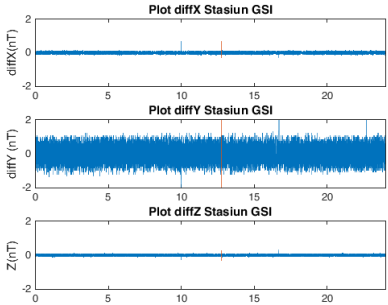



(a)

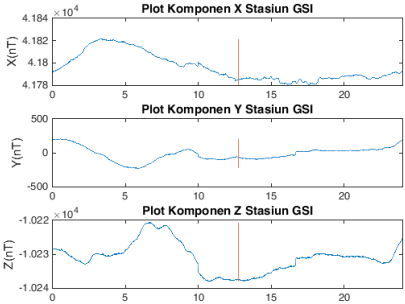



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

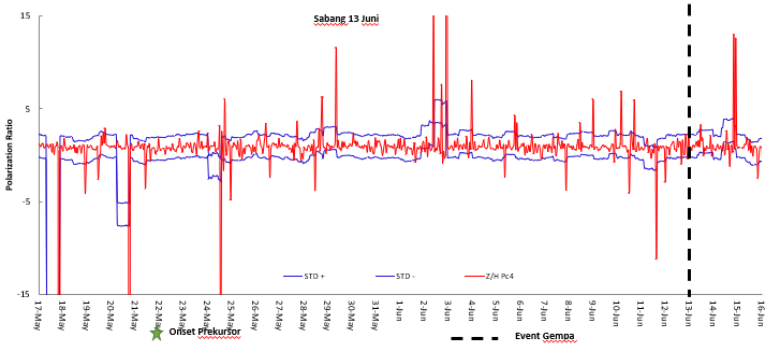


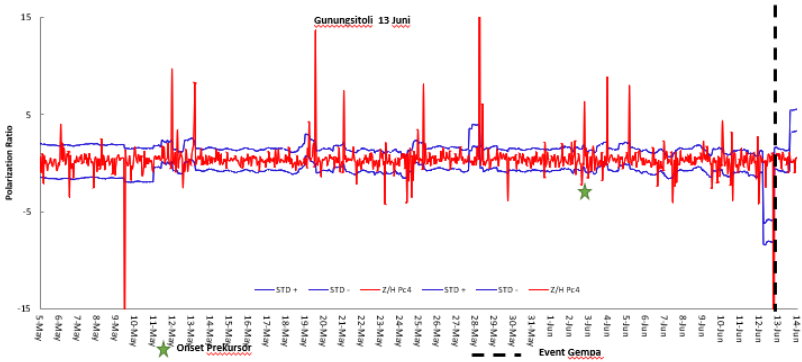

(a)

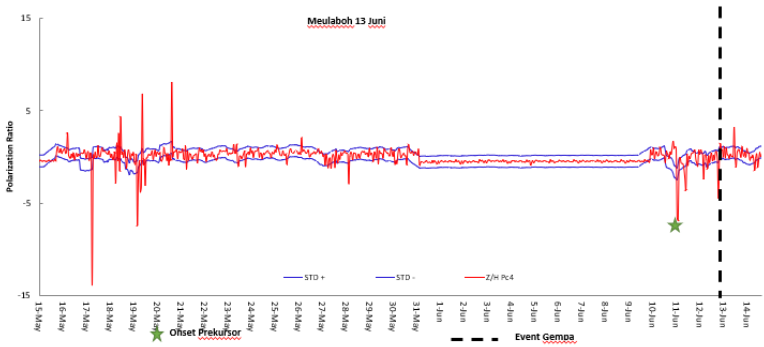



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

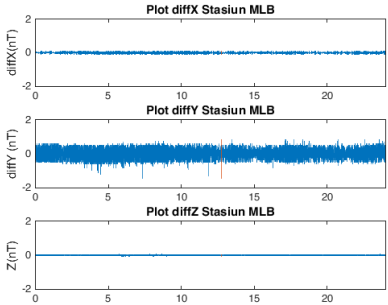




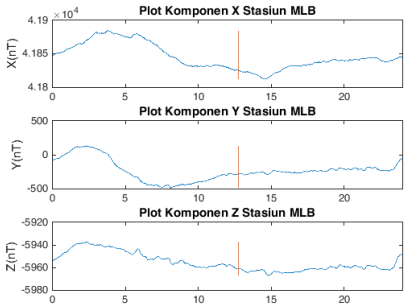




Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 13 Juni 2019

20. 20 Juni 2019

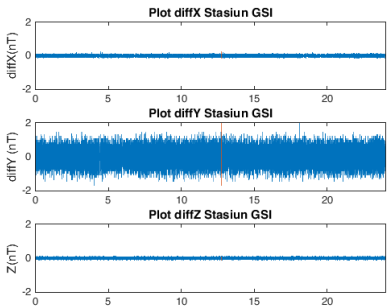



(a)

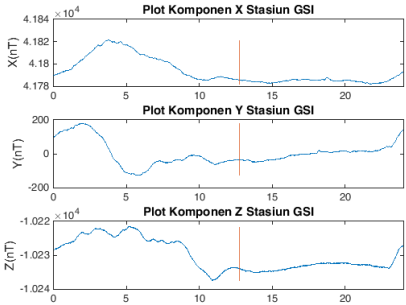



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

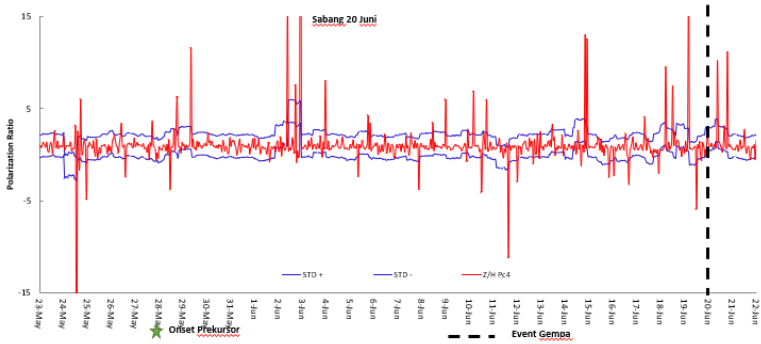


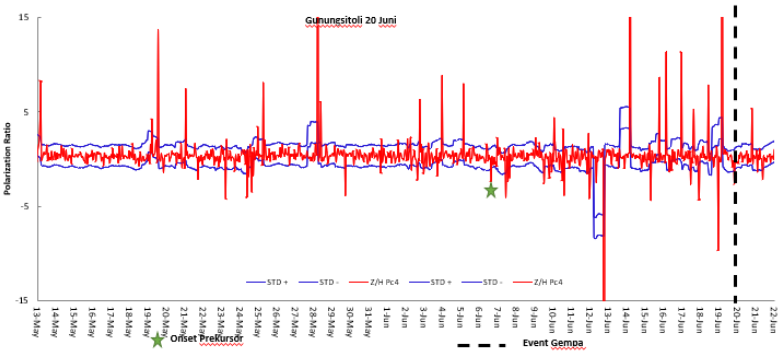

(a)

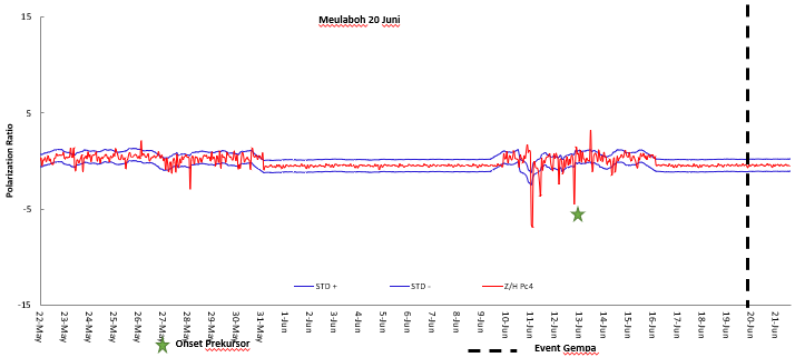



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

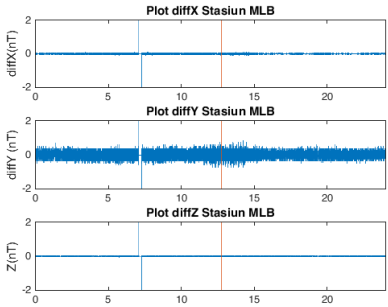


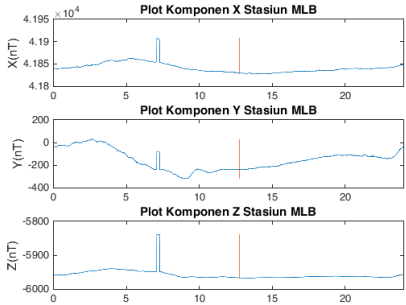



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 20 Juni 2019

21. 25 Juni 2019

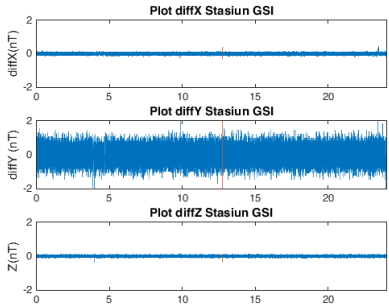



(a)

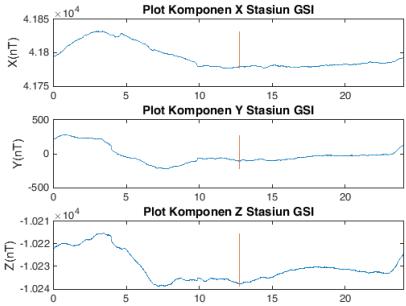



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

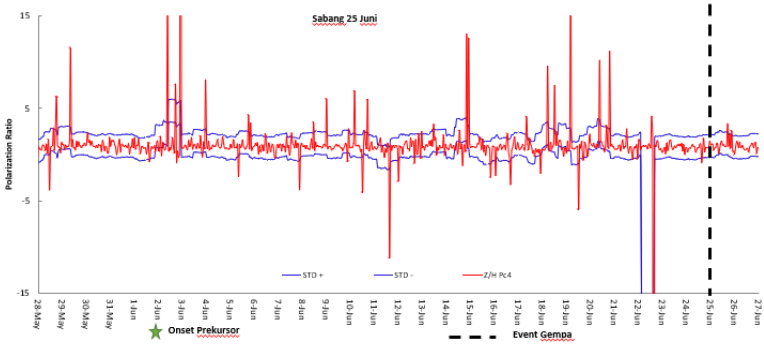


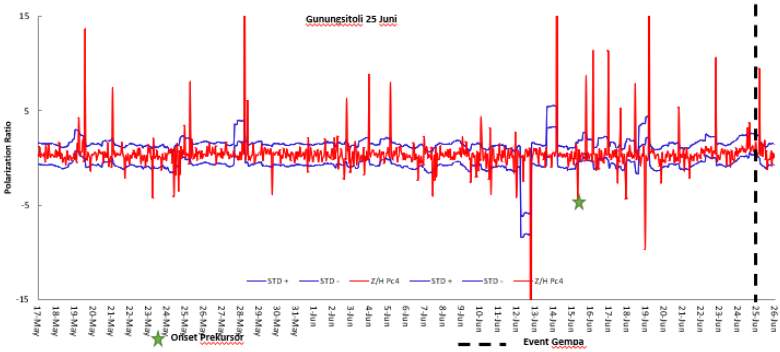

(a)

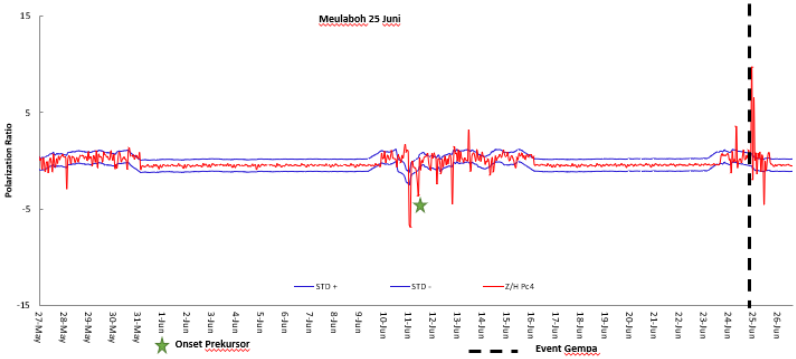



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

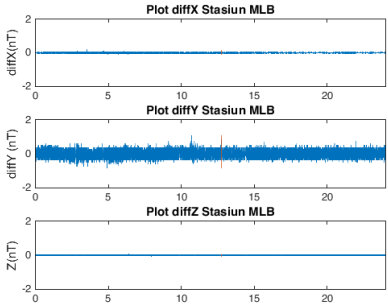




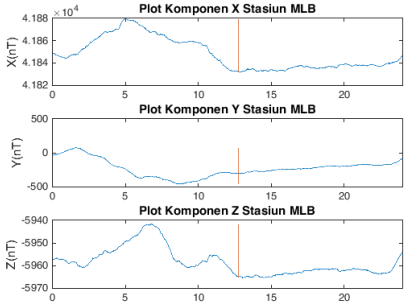




Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 25 Juni 2019

22. 28 Juni 2019

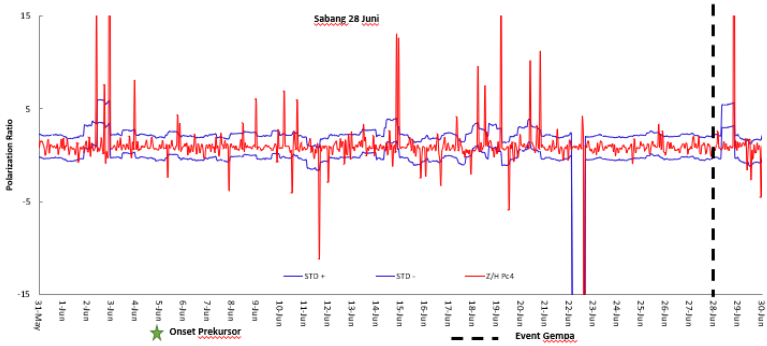


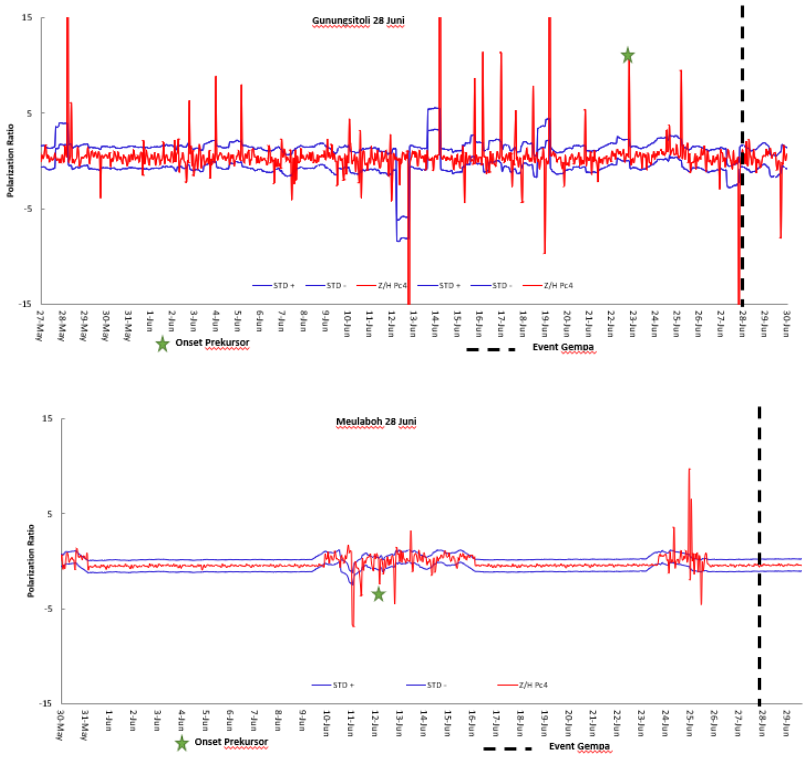

(a)




(b)

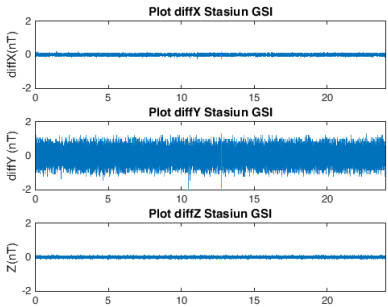
Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*



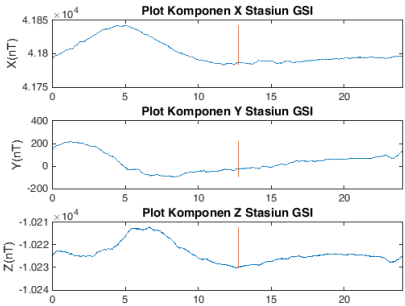



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 28 Juni 2019

23. 1 Juli 2019

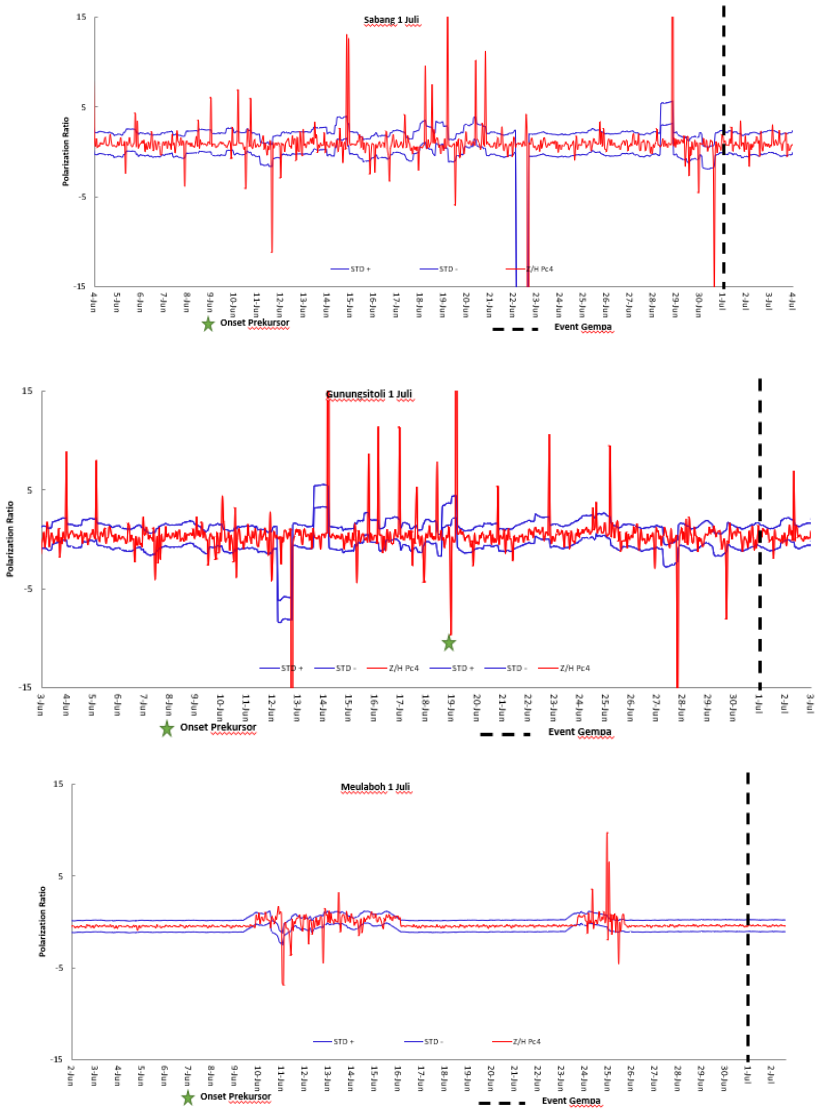



(a)



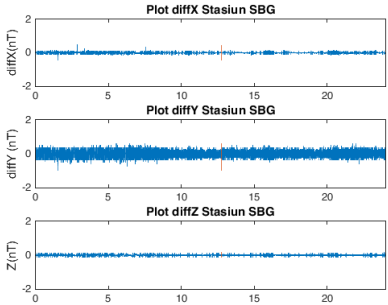

(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

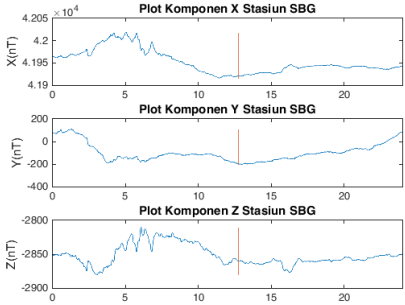



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 1 Juli 2019

24. 5 Juli 2019

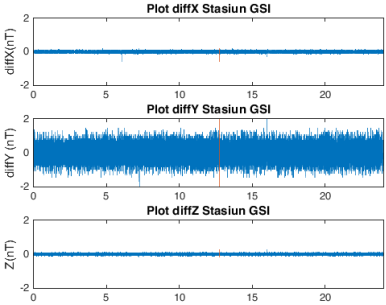



(a)

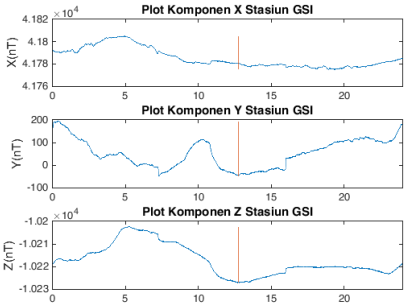



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

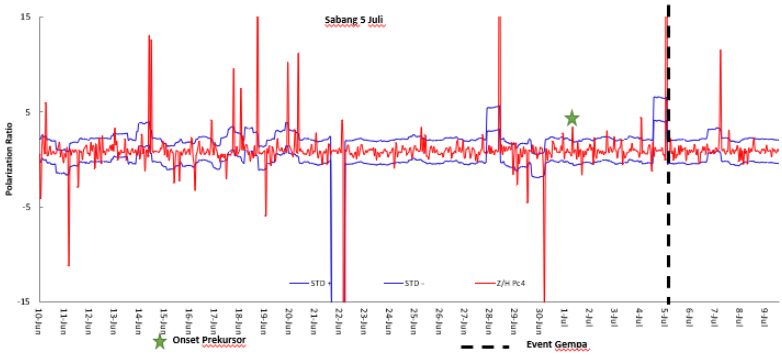


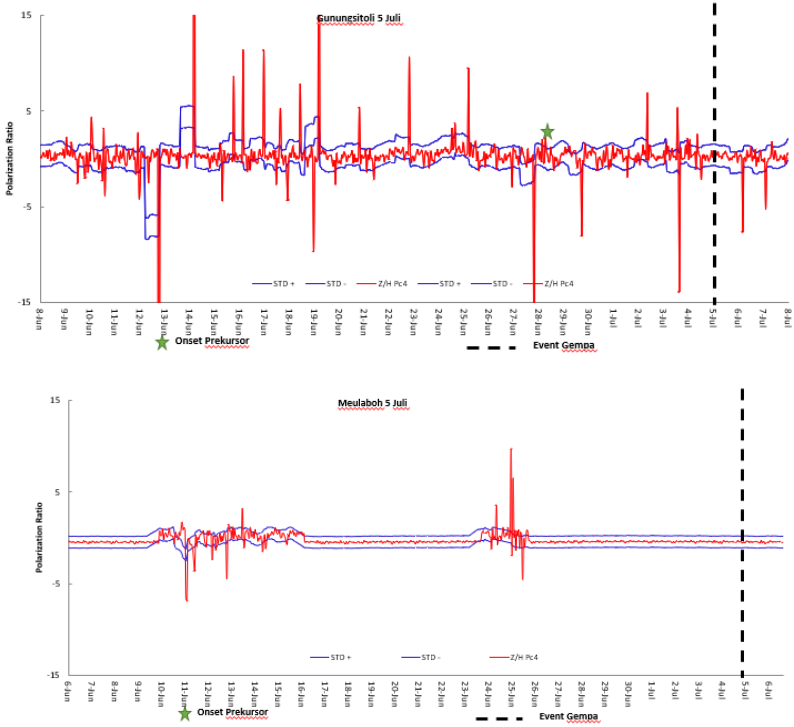
(a)




(b)

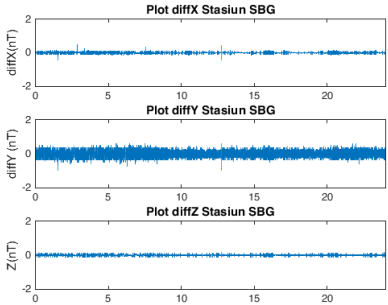
Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*



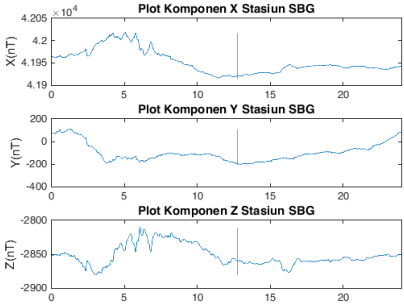



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 5 Juli 2019

25. 10 Juli 2019

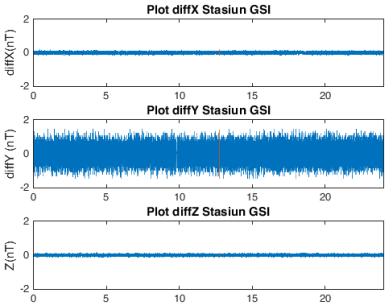



(a)

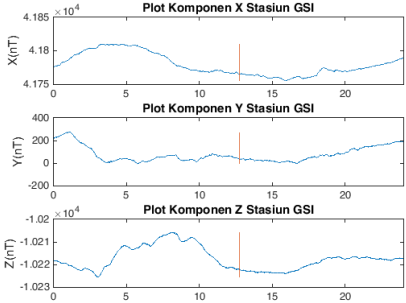



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

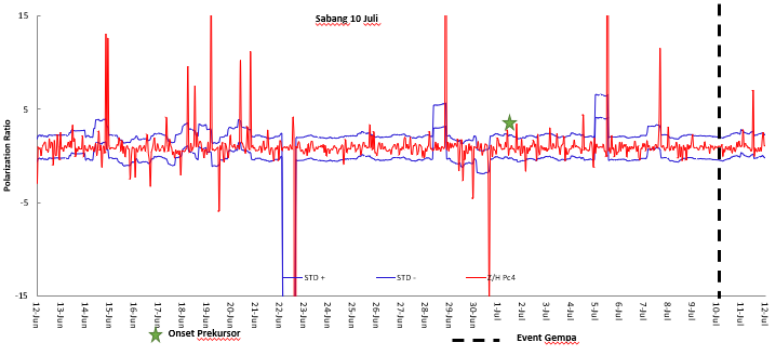


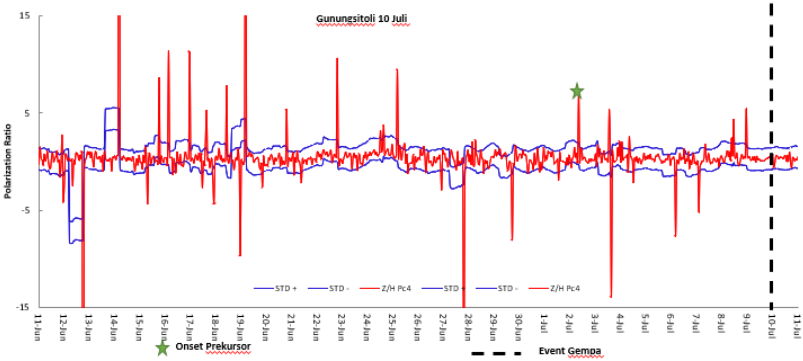

(a)

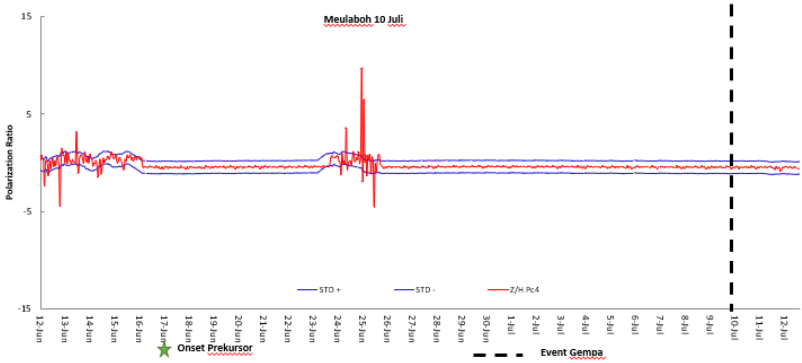



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

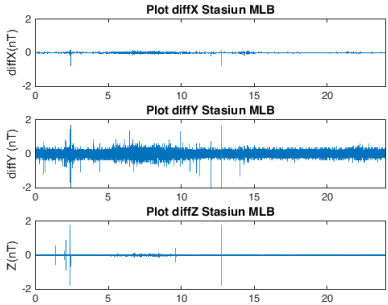




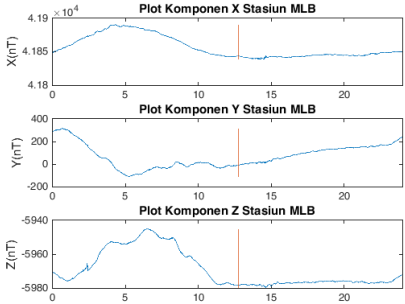




Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 10 Juli 2019

26. 3 Agustus 2019

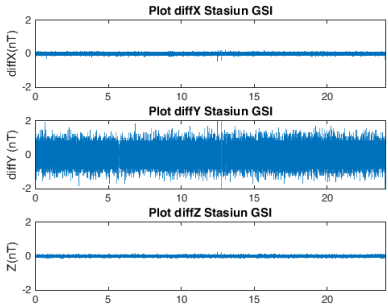



(a)

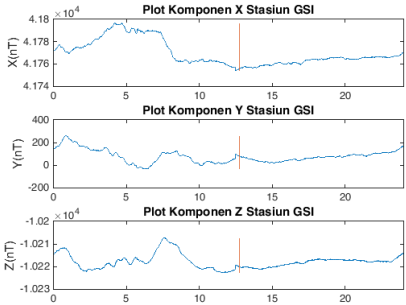



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

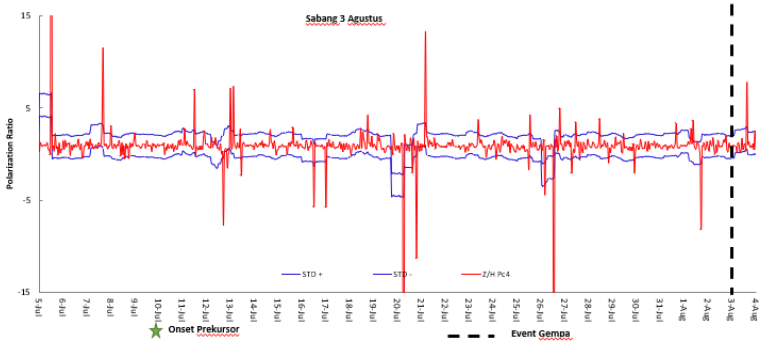


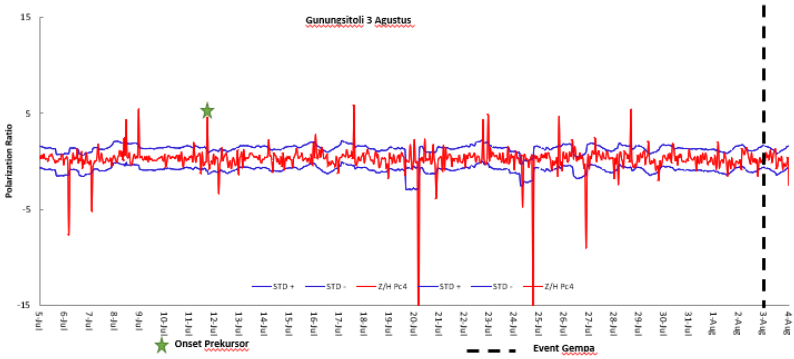
(a)



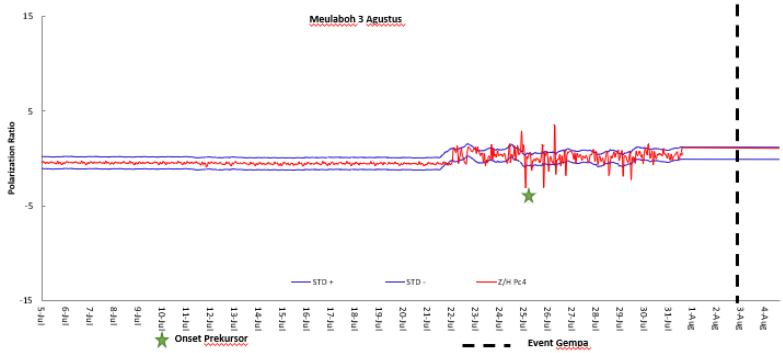

(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*



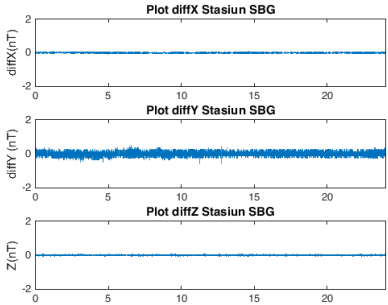



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 10 Juli 2019

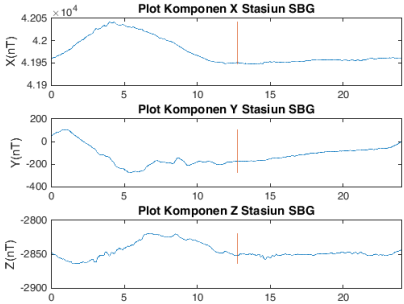



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 3 Agustus 2019

27. 7 Agustus 2019

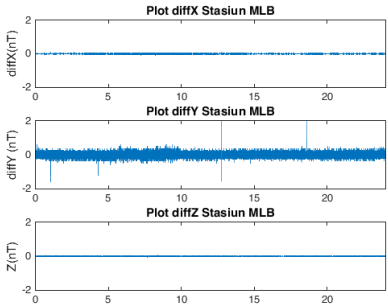



(a)

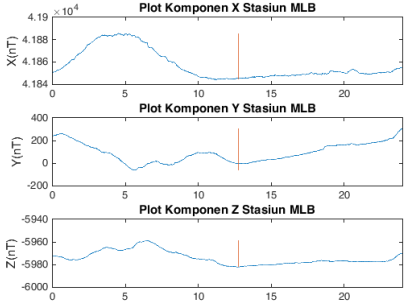



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

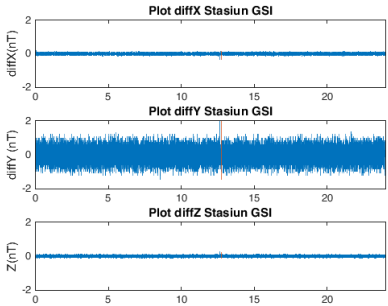



(a)

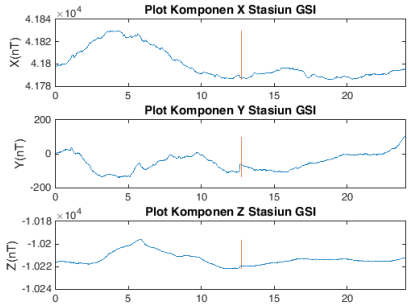



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

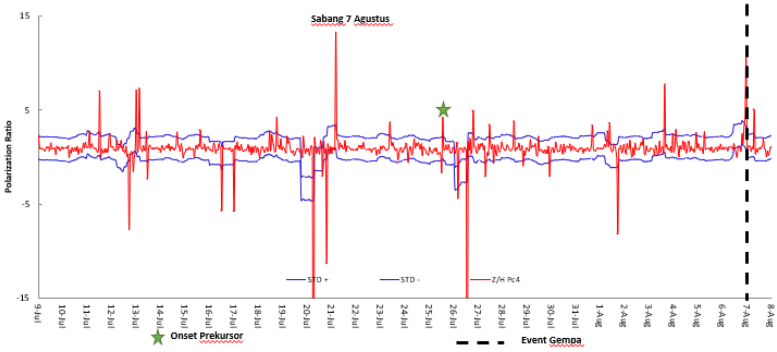


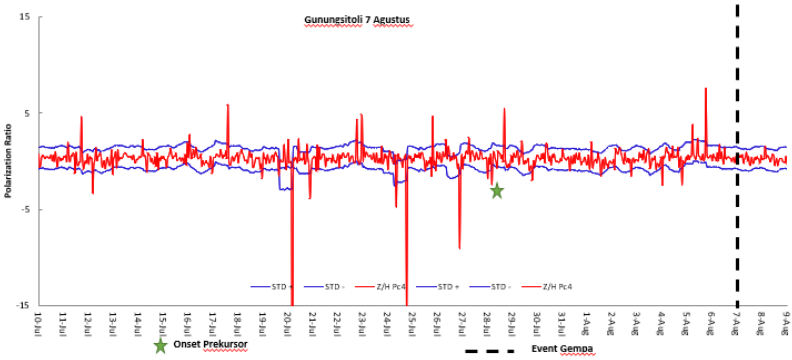

(a)

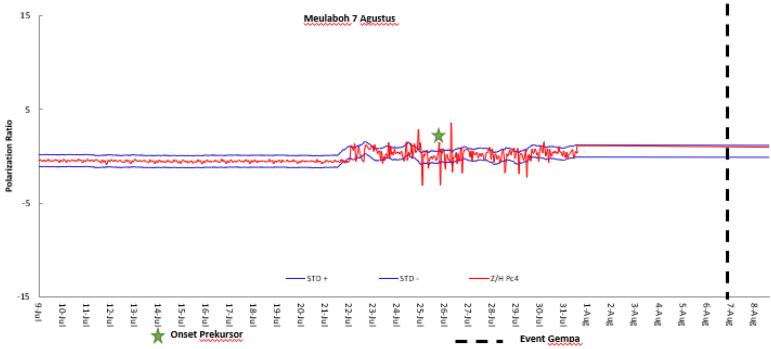



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

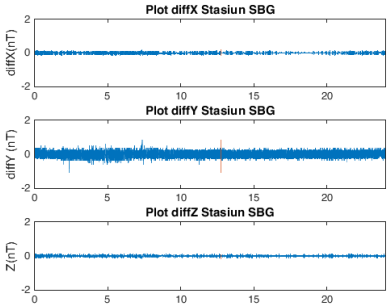


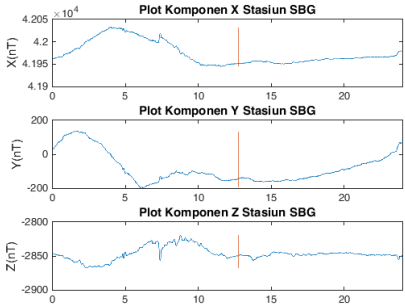



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 7 Agustus 2019

28. 13 Agustus 2019

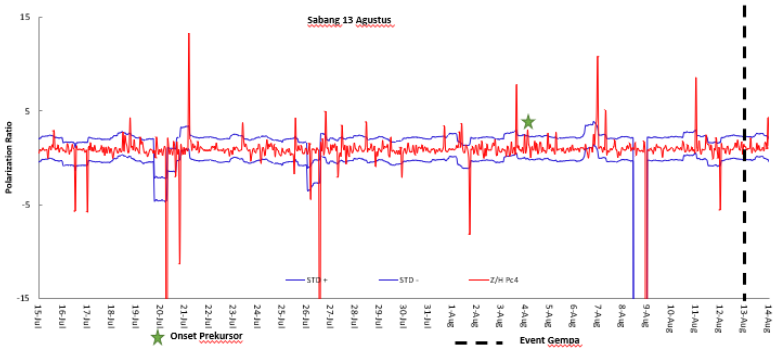


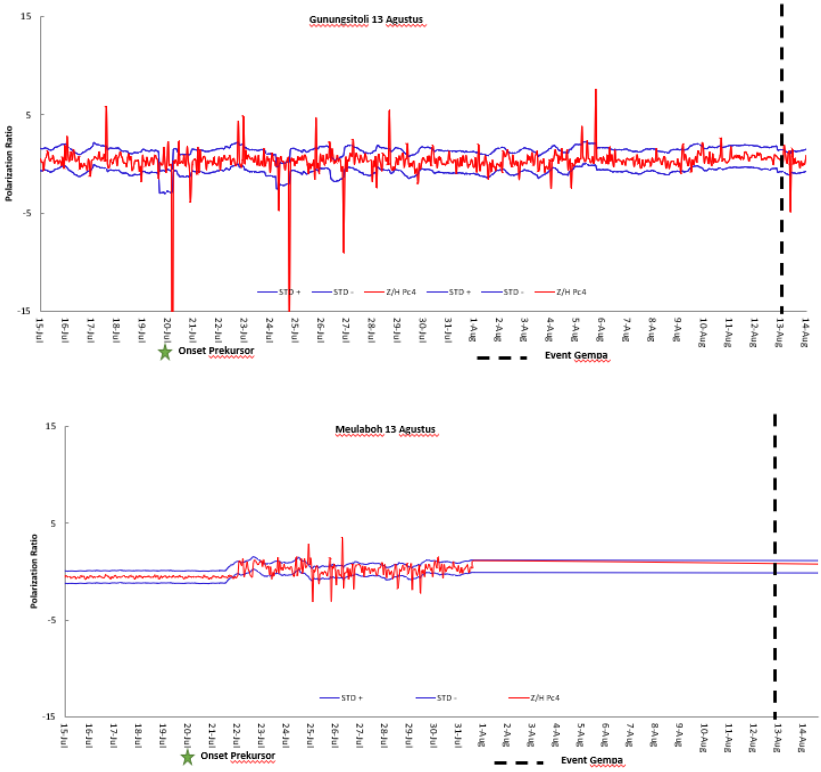

(a)




(b)

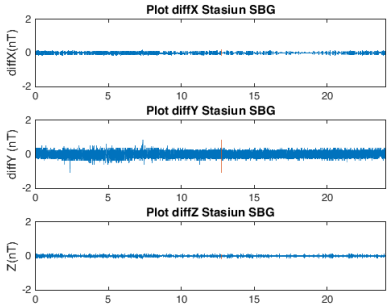
Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*



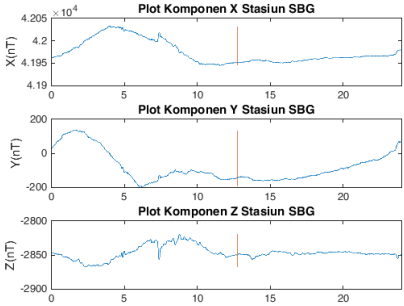



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 13 Agustus 2019

29. 23 Agustus 2019

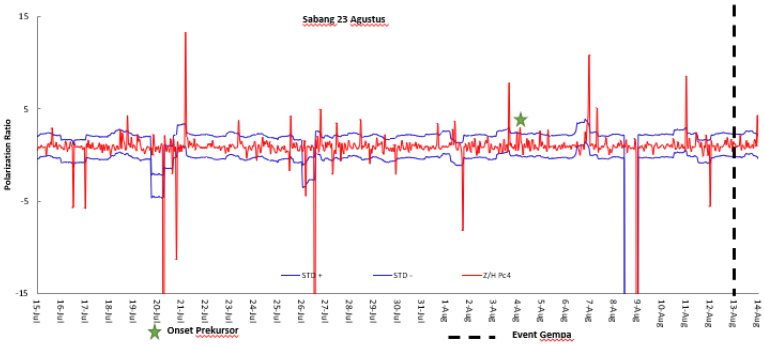


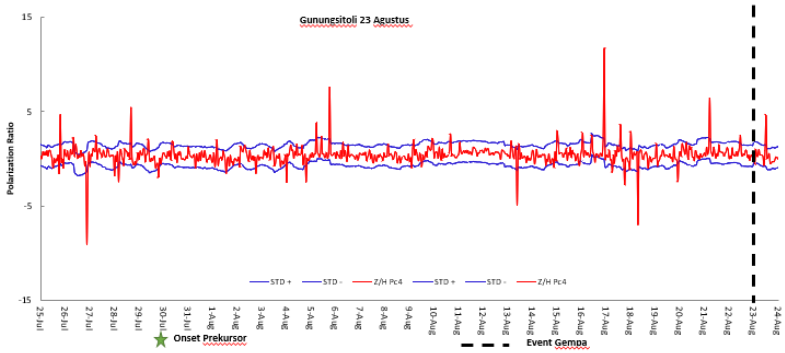

(a)

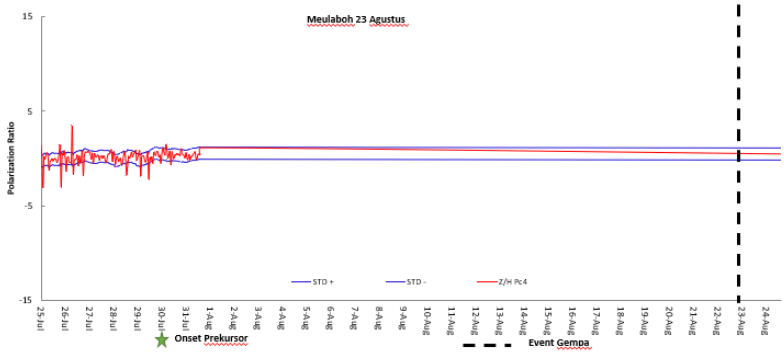



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

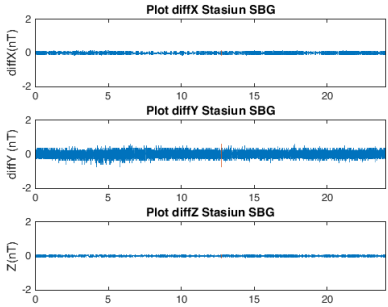




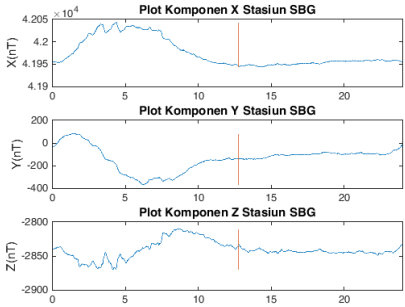




Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 23 Agustus 2019

30. 29 Agustus 2019

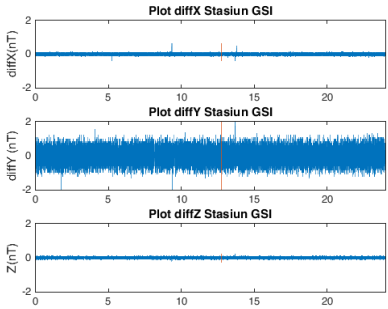



(a)

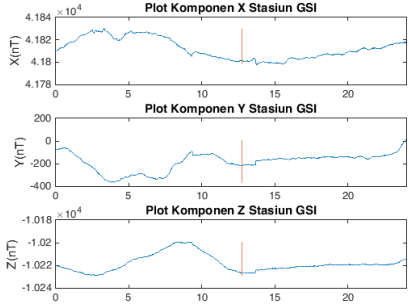



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

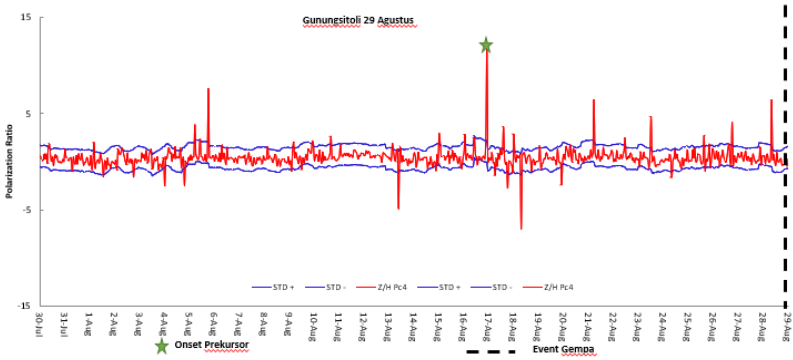


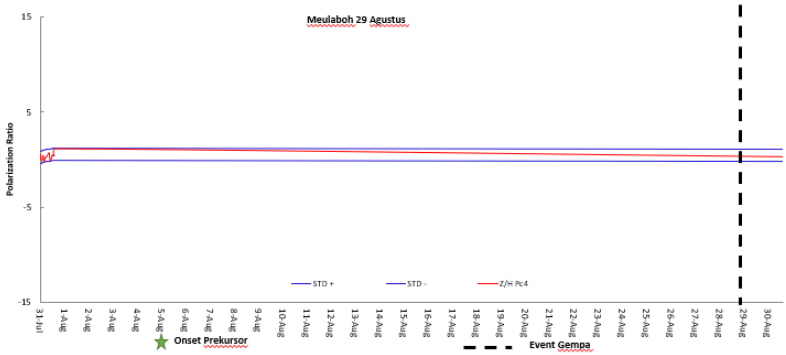

(a)




(b)

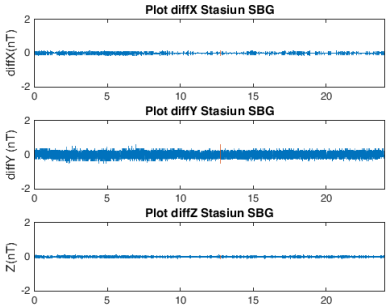
Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*



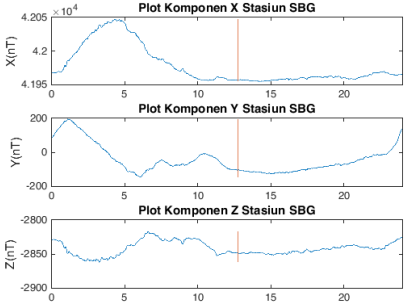



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 29 Agustus 2019

31. 16 September 2019

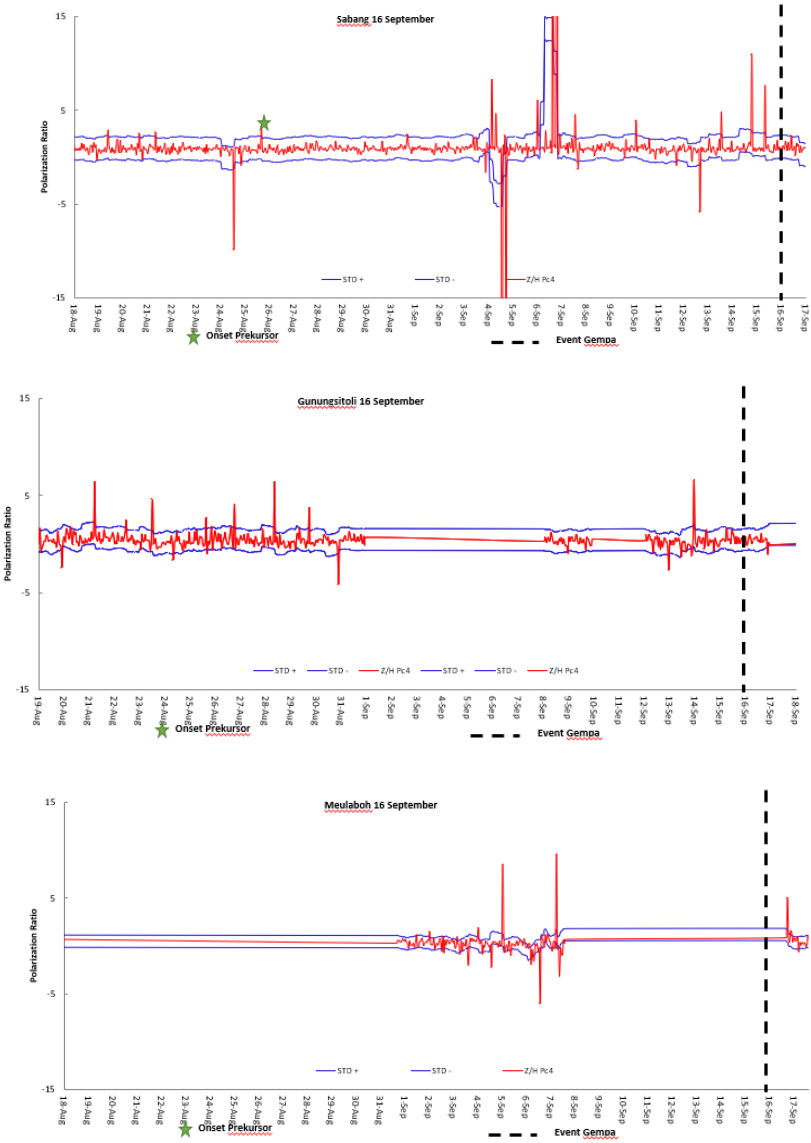



(a)



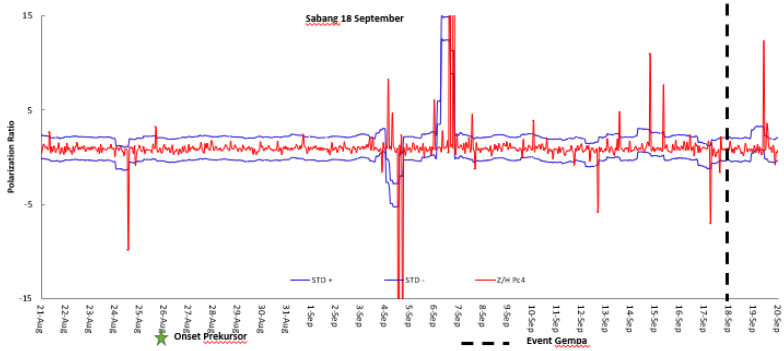

(b)

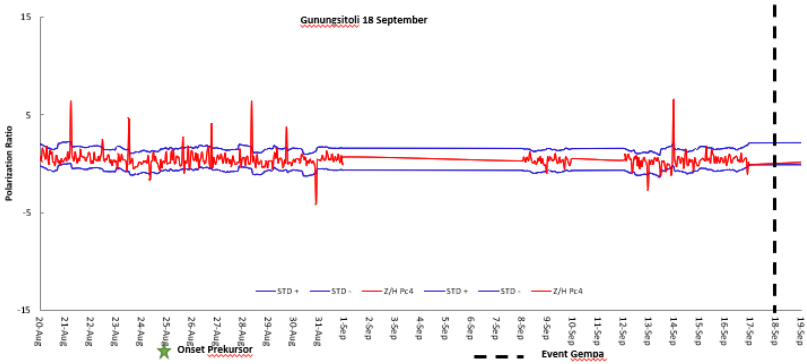
Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

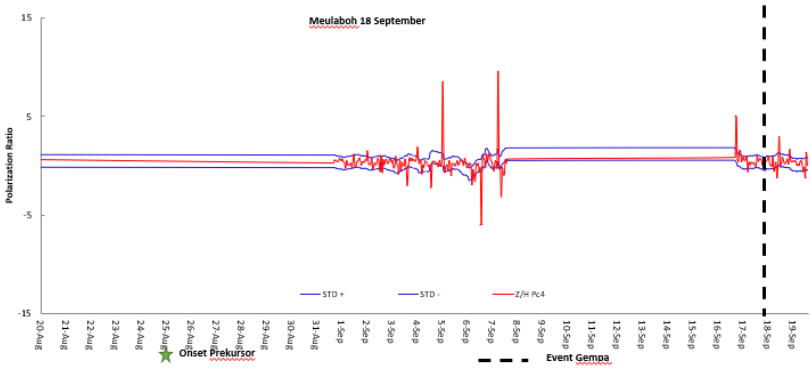



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 16 September 2019

32. 18 September 2019

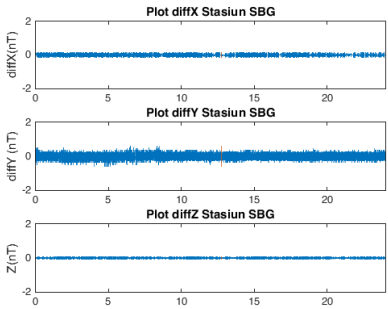


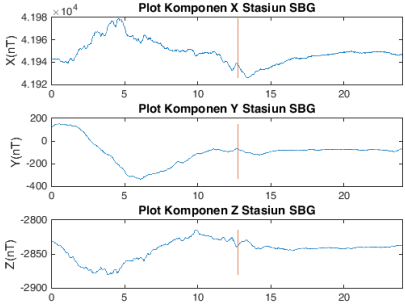



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 18 September 2019

33. 7 Oktober 2019

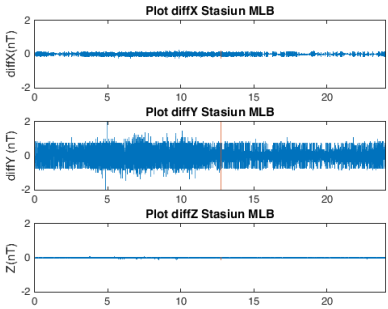



(a)

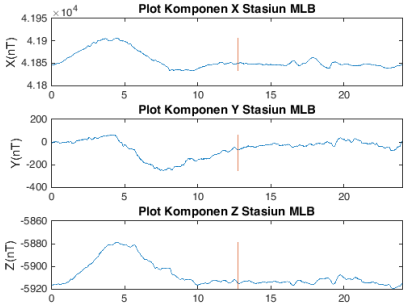



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

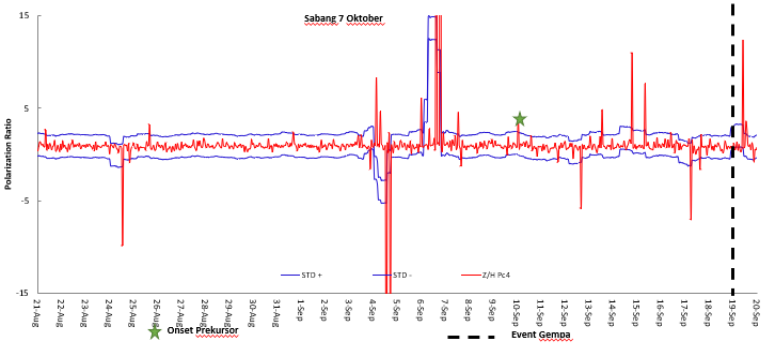


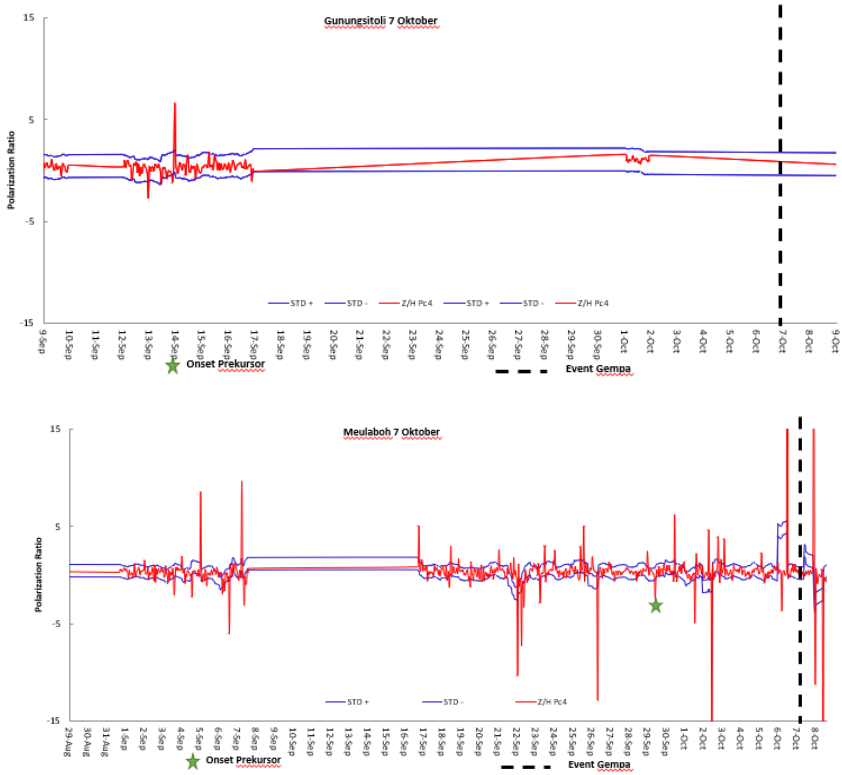

(a)




(b)

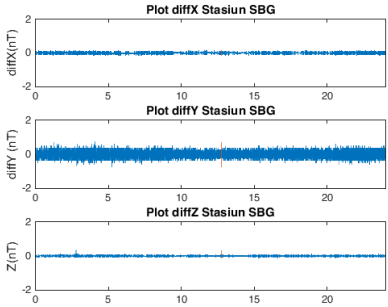
Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*


Sabang 7 Oktober
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
21-Aug
22-Aug
23-Aug
24-Aug
25-Aug
26-Aug
27-Aug
28-Aug
29-Aug
30-Aug
31-Aug
1-Sep
2-Sep
3-Sep
4-Sep
5-Sep
6-Sep
7-Sep
8-Sep
9-Sep
10-Sep
11-Sep
12-Sep
13-Sep
14-Sep
15-Sep
16-Sep
17-Sep
18-Sep
19-Sep
20-Sep
Onset Prekursor
Event Gempa

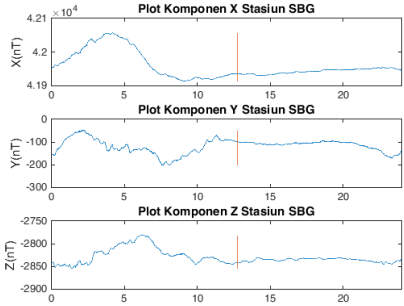



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 7 Oktober 2019

34. 10 Oktober 2019

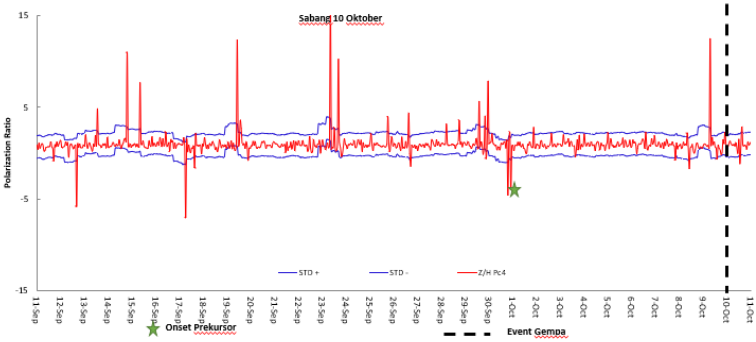


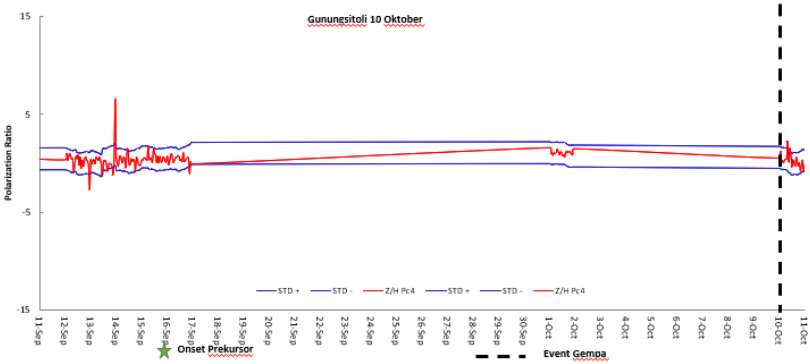

(a)

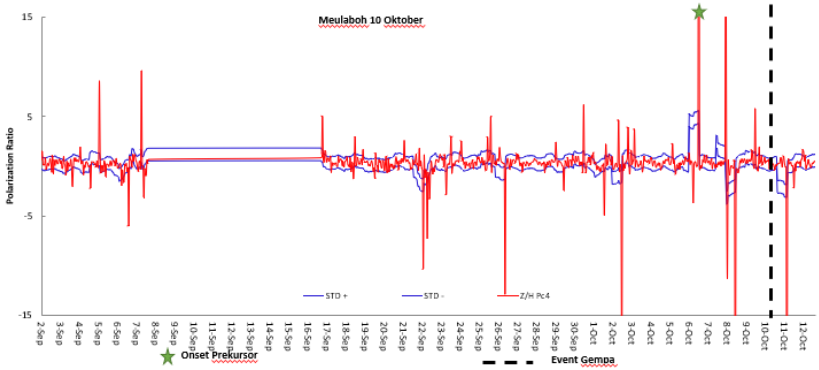



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

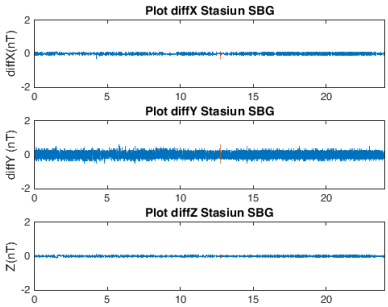




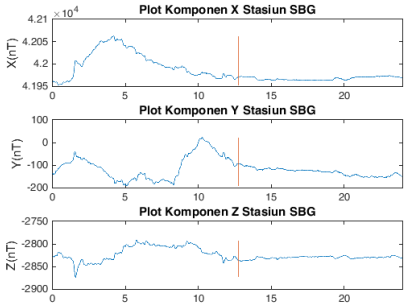




Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 10 Oktober 2019

35. 30 Oktober 2019

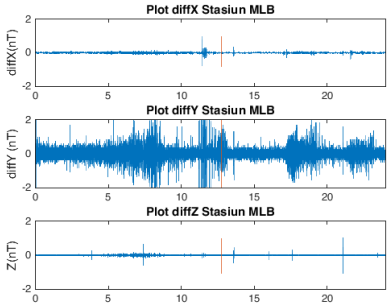


(a)

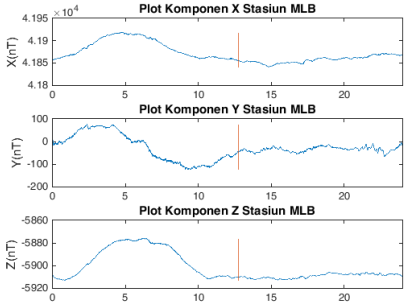



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

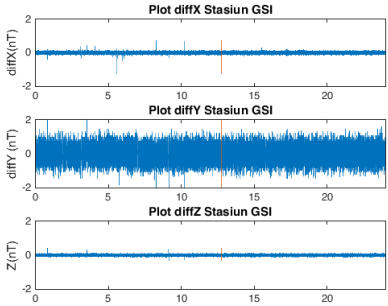



(a)

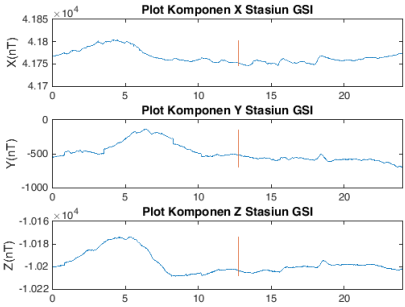


(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

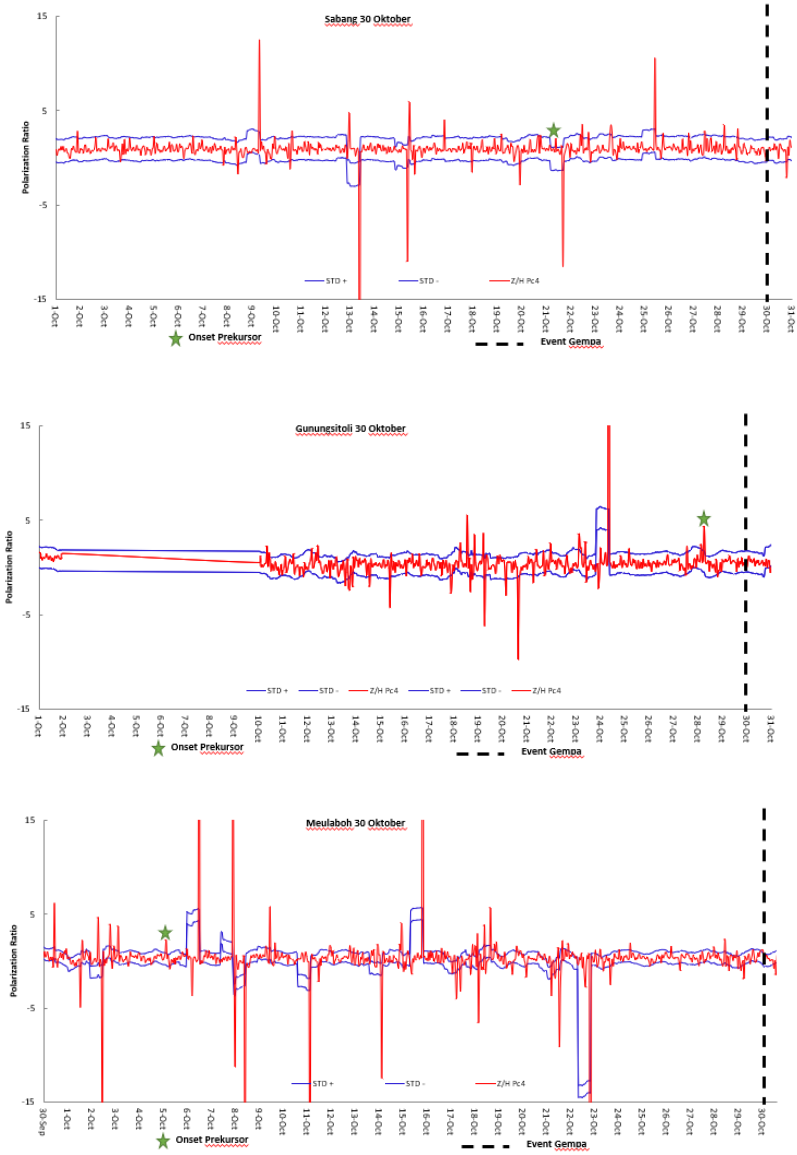



(a)



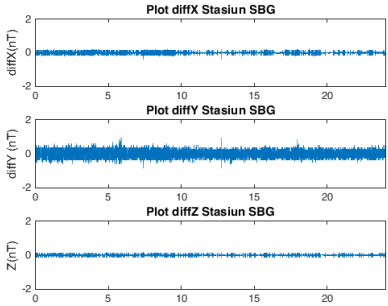

(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

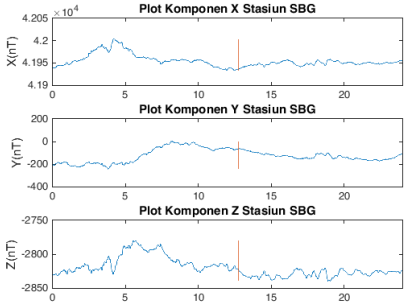



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 30 Oktober 2019

36. 3 November 2019

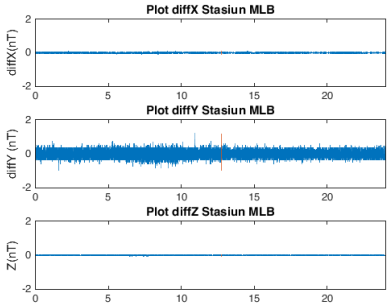



(a)

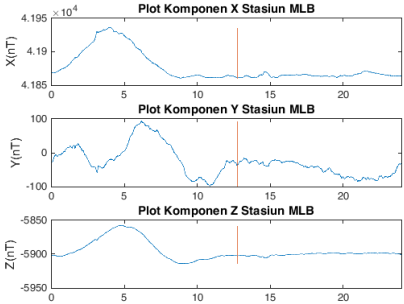



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

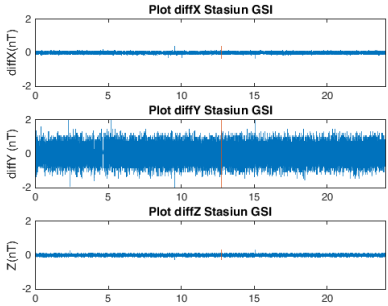



(a)

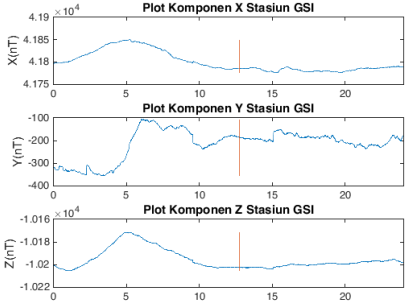



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

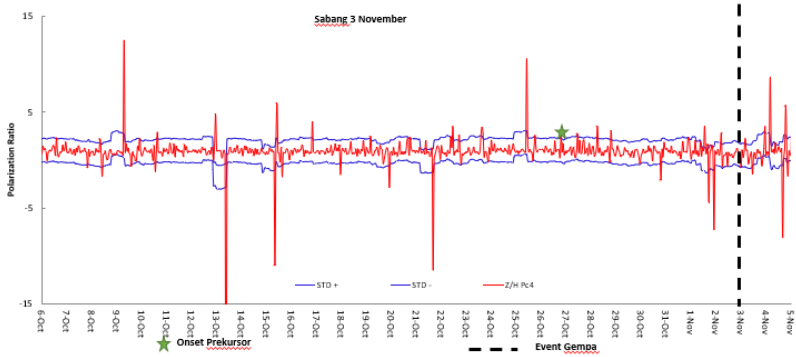


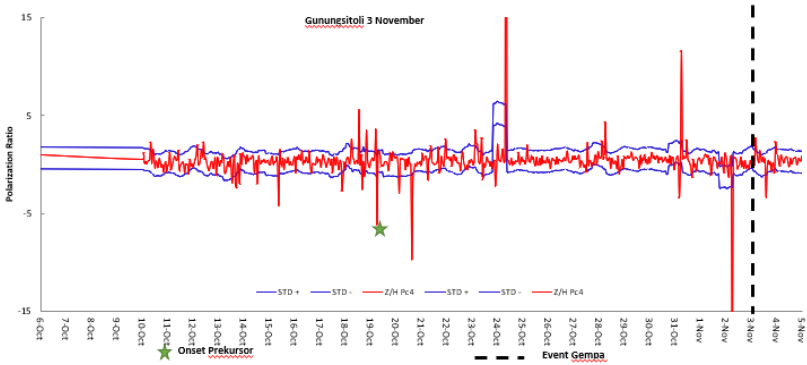

(a)

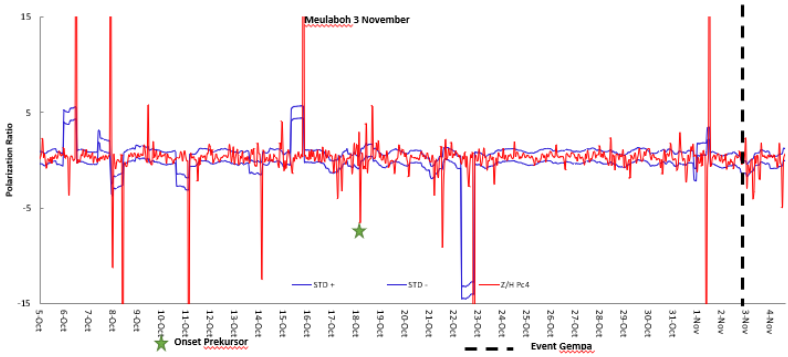



(b)

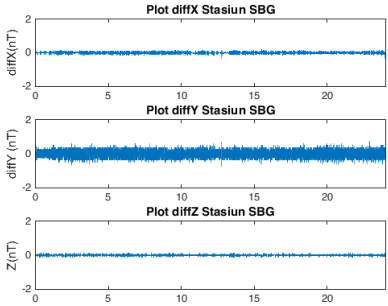
Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*


Sabang 3 November
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
6-Oct
7-Oct
8-Oct
9-Oct
10-Oct
11-Oct
12-Oct
13-Oct
14-Oct
15-Oct
16-Oct
17-Oct
18-Oct
19-Oct
20-Oct
21-Oct
22-Oct
23-Oct
24-Oct
25-Oct
26-Oct
27-Oct
28-Oct
29-Oct
30-Oct
31-Oct
1-Nov
2-Nov
3-Nov
4-Nov
5-Nov
Onset Prekursor
Event Gempa

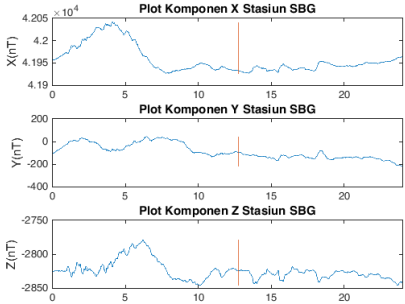

Gunungsitoli 3 November
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
STD +
STD -
Z/H Pc4
6-Oct
7-Oct
8-Oct
9-Oct
10-Oct
11-Oct
12-Oct
13-Oct
14-Oct
15-Oct
16-Oct
17-Oct
18-Oct
19-Oct
20-Oct
21-Oct
22-Oct
23-Oct
24-Oct
25-Oct
26-Oct
27-Oct
28-Oct
29-Oct
30-Oct
31-Oct
1-Nov
2-Nov
3-Nov
4-Nov
5-Nov
Onset Prekursor
Event Gempa


Meulaboh 3 November
Polarization Ratio
15
5
-5
-15
STD +
STD -
Z/H Pc4
5-Oct
6-Oct
7-Oct
8-Oct
9-Oct
10-Oct
11-Oct
12-Oct
13-Oct
14-Oct
15-Oct
16-Oct
17-Oct
18-Oct
19-Oct
20-Oct
21-Oct
22-Oct
23-Oct
24-Oct
25-Oct
26-Oct
27-Oct
28-Oct
29-Oct
30-Oct
31-Oct
1-Nov
2-Nov
3-Nov
4-Nov
Onset Prekursor
Event Gempa

37. 5 November 2019

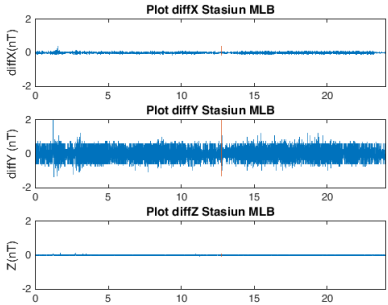



(a)

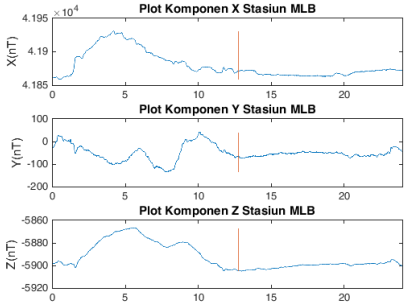



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

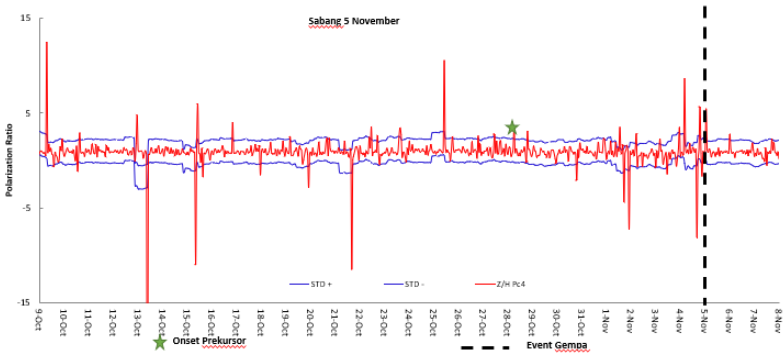


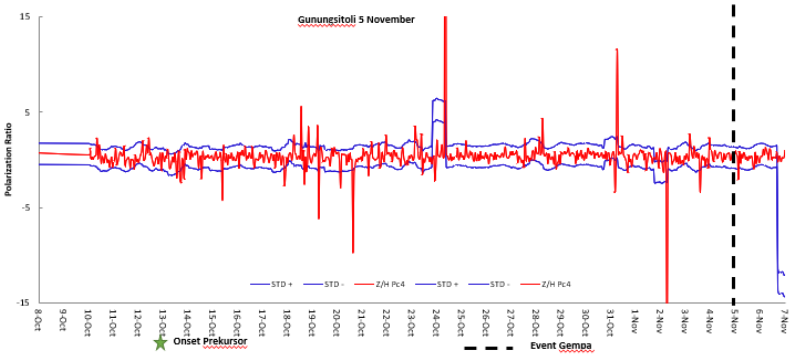

(a)

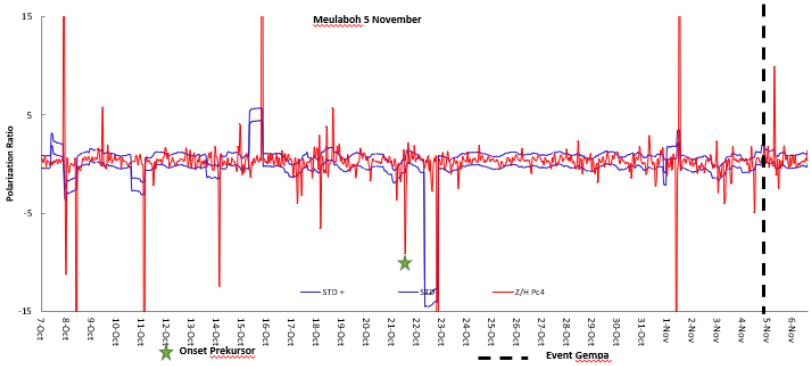



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

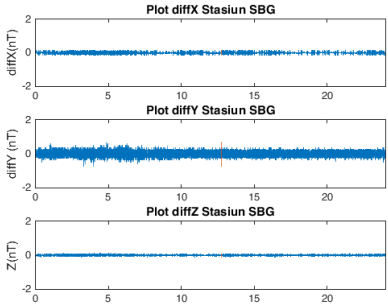




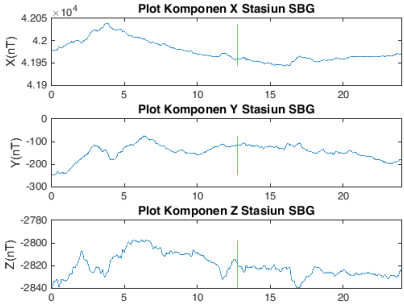




Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 5 November 2019

38. 14 November 2019

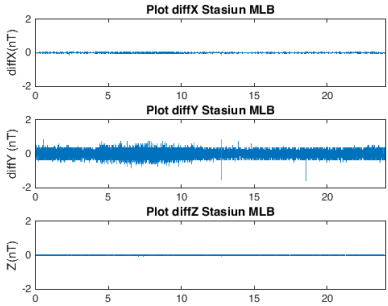



(a)

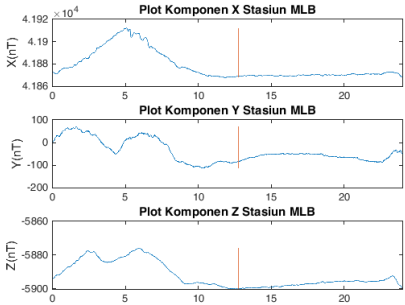



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

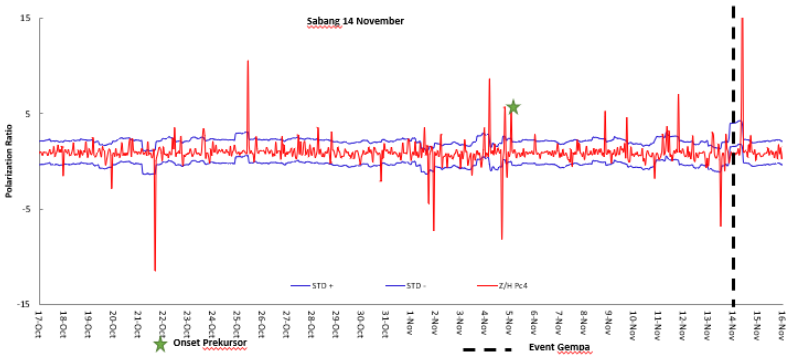


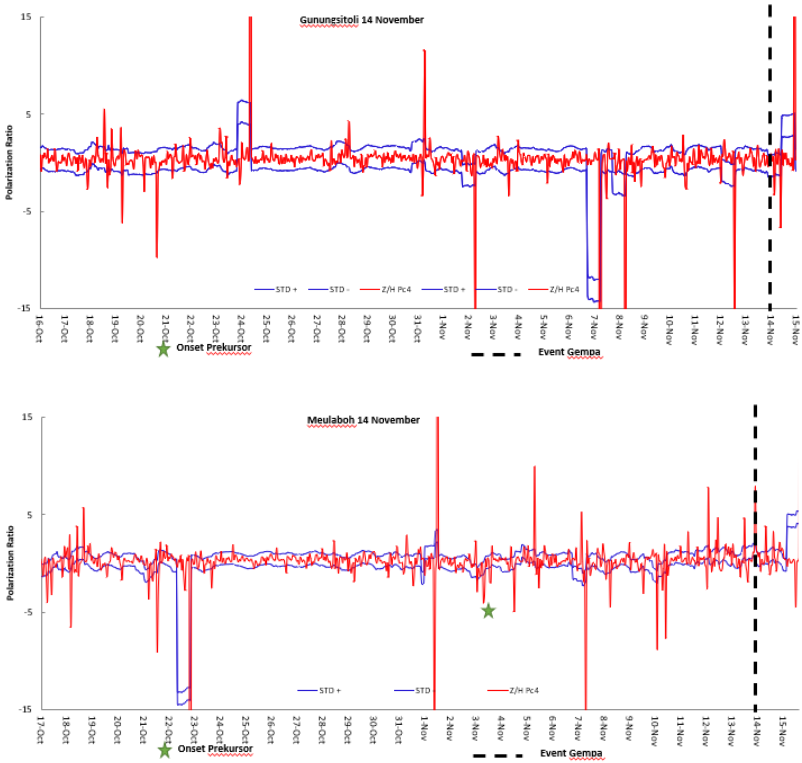

(a)




(b)

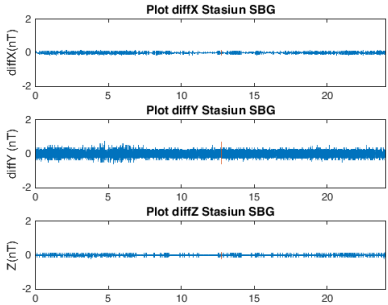
Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*



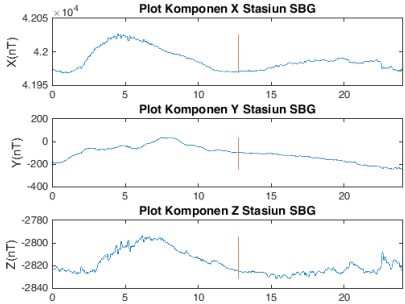



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 14 November 2019

39. 25 November 2019

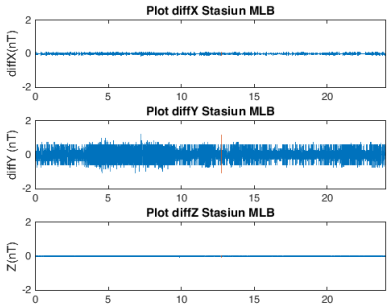



(a)

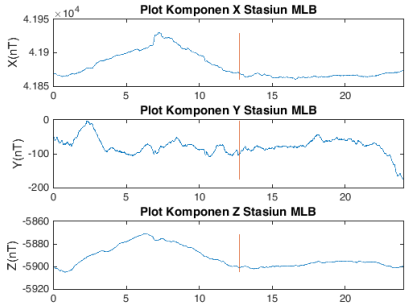



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

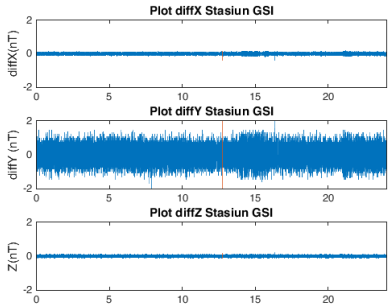



(a)

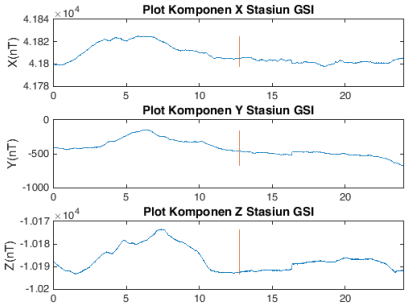



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

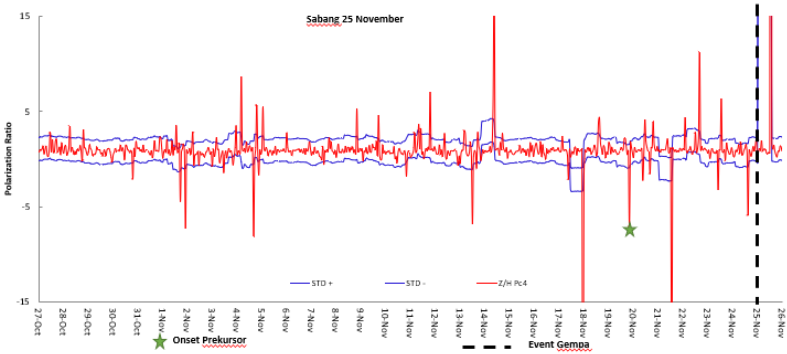


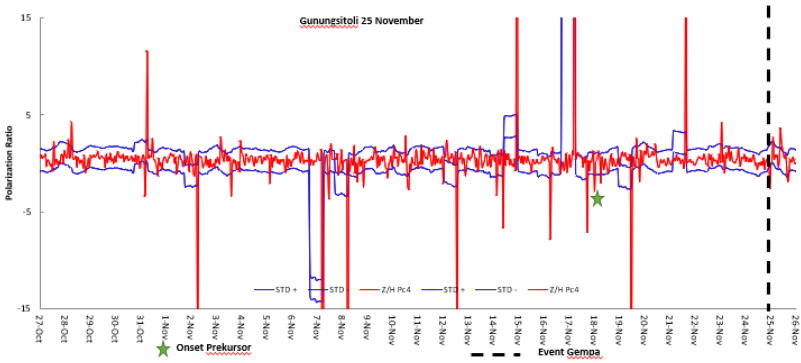

(a)

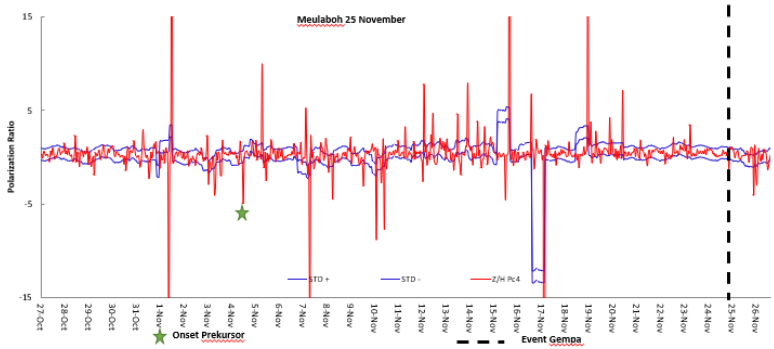



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

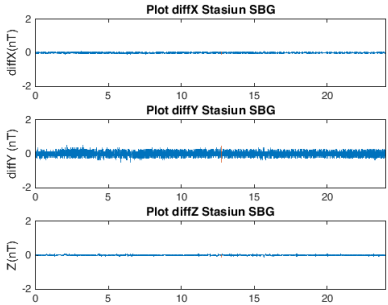




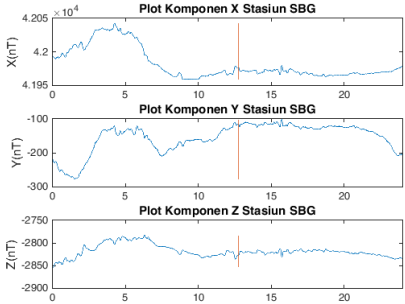




Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 25 November 2019

40. 5 Desember 2019

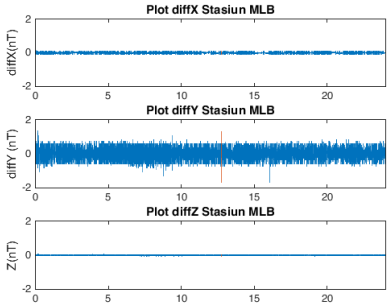



(a)

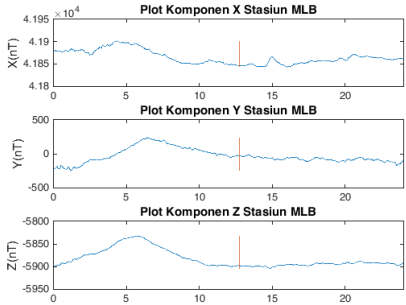



(b)

Waveform (a) Differensial Onset SBG (b) *Raw Data*

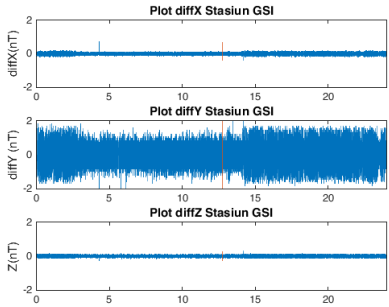



(a)

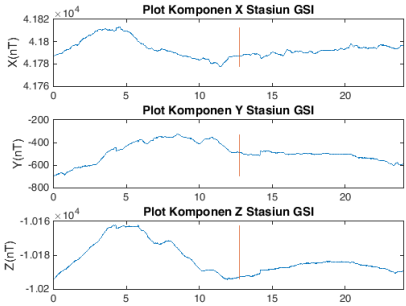



(b)

Waveform (a) Differensial Onset MLB (b) *Raw Data*

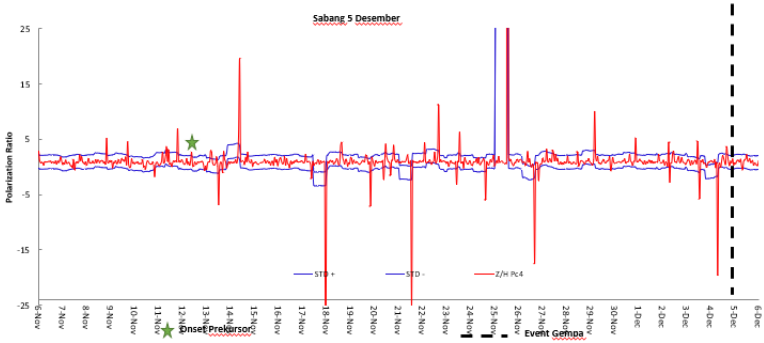


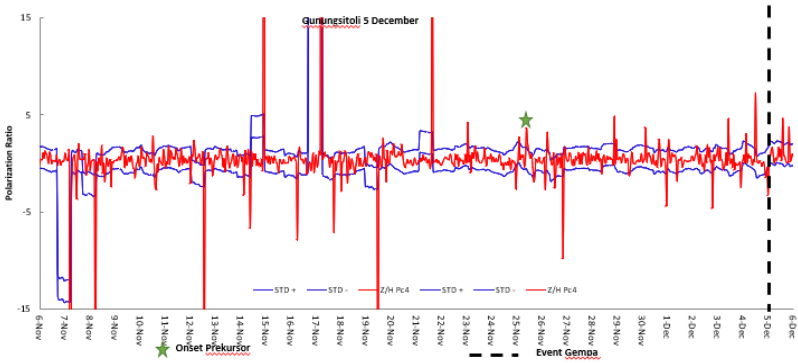

(a)

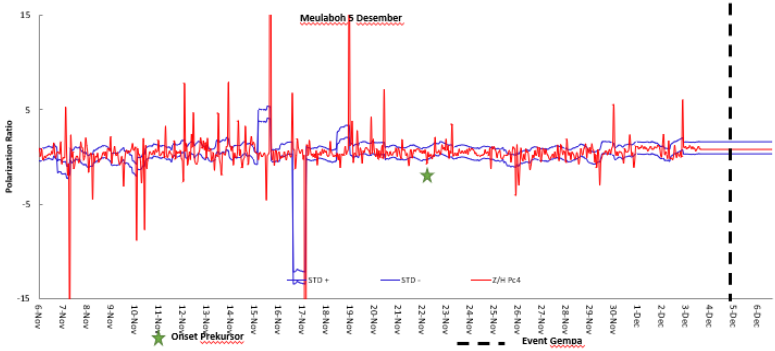



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*

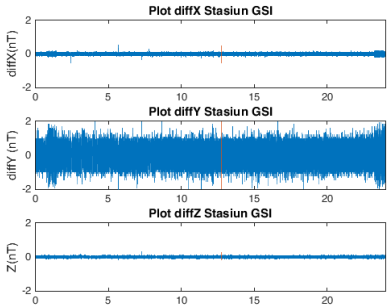


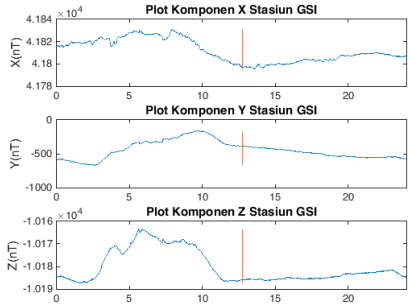



Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 5 Desember 2019

41. 29 Desember 2019

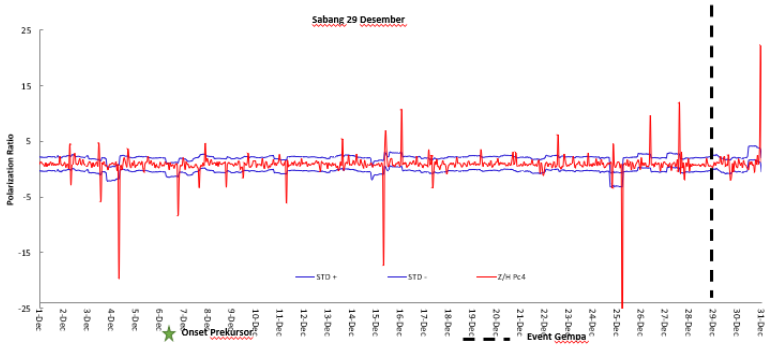


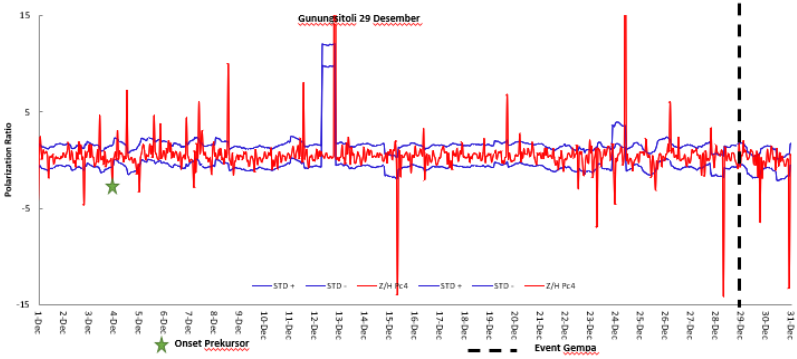

(a)

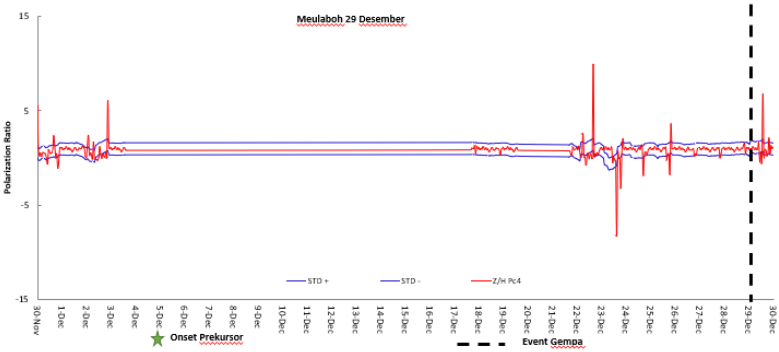



(b)

Waveform (a) Differensial Onset GSI (b) *Raw Data*






Polarisasi *power* ratio SBG, MLB, GSI 29 Desember 2019

# BIOGRAFI PENULIS

Penulis bernama Raulia Reno Cahyaningtyas, lahir dari pasangan Bapak Suyatno dan Ibu Retno Ujianingsih pada tanggal 11 Oktober 1998 di DKI Jakarta. Penulis merupakan anak tunggal. Penulis menempuh Pendidikan formal pertama kali di SD Barunawati IV Jakarta (2004-2010), kemudian SMPN 95 Jakarta (2010-2013) dan SMAN 13 Jakarta (2013-2016). Penulis memulai Pendidikan di Departemen Teknik Geofisika ITS pada tahun 2016.

Selama aktif menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Geofisika ITS penulis juga aktif dalam organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS menjadi bagian dari Biro Big Event sebagai staff (2017-2018) dan melanjutkan sebagai staff ahli Biro Big Event pada periode (2018-2019). Penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan acara seperti staff acara dari Ini Lho ITS (ILITS) (2016), staff acara dari Geoscience Atmosphere 2017 dan koor Gala Dinner di acara Geoscience Atmosphere 2019.

Pengalaman pelatihan yang penulis dapatkan yaitu, Petrophysics Training & Geophysics Integrated Study for Reservoir Characterization in Oil and Gas Industry, Well Log Data Processing, dan MT Data Processing and Interpretation. Selain itu penulis juga mengikuti beberapa pelatihan di ITS seperti Latihan Keterampilah Manegerial Mahasiswa (LKMM) tingkat Dasar.

Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulis melalui rauliaretno@gmail.com atau telepon 091318567766