**BAB IV**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Hasil**

Polarisasi rasio z/h data magnet dengan frequency 0,s012 Hz dan 0,022 Hz ( Ahadi dkk., 2014) digunakan untuk menentukan nilai Anomali *Ultra Low Frequency*. Setelah diperoleh nilai polarisasi z/h kemudian dilanjutkan dengan perhitungan standar deviasi. Standar deviasi dilakukan untuk mengetahui pola fluktuasi polarisasi z/h. Pola fluktuasi polarisasi z/h dikatakan sebagai anomali *ultra low frequency* jika melebihi batas standar deviasi.

Untuk mengetahui arah datangnya anomali low frequency yang diebut sebagai azimuth anomali maka diterapkan sebuah metode yaitu metode *single station transfer function*.Metode *SSTF* digunakan untuk mengetahui apakah azimuth anomaly berasal dari suatu sumber patahan.Jika azimuth mengarah pada sumber patahan dimana gempabumi terjadi maka dianggap sebagai sebuah prekursor.

**4.1.1 Hari Tenang**

Hari tenang merupakan hari tanpa gangguan magnetik yang berasal dari aktifitas matahari seperti angin matahari dan badai magnetik serta gangguan lokal akibat aktifitas di sekitar sensor magnetik maupun aktifitas gempabumi. Hari tenang dapat menggambarkan apakah pada frequensi 0,012 Hz – 0,022 Hz terdapat gangguan akibat badai magnetik ataupun gempa bumi.Dengan mengetahui pola fluktuasi polarisasi rasio z/h pada hari tenang dapat bermanfaat untuk membedakan pola fluktuasi akibat anomali emisi ULF yang diemisikan dari sumber gempa bumi atau patahan atau anomali akibat badai magnetik dan gangguan lainnya. Data yang digunakan adalah data pada pukul 23.00 – 04.00 dini hari. Waktu tersebut dipilih pada malam hingga dini hari bertujuan untuk memilih kualitas sinyal yang baik karena pada waktu tersebut sangat minim aktifitas manusia.

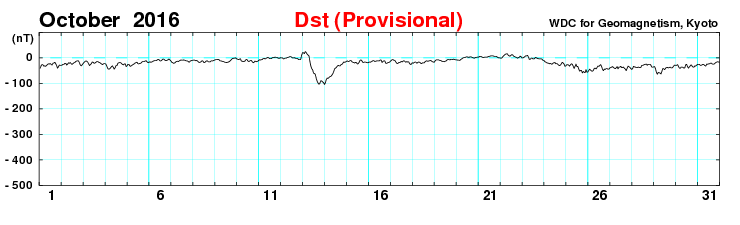
**Gambar 4.1 Fluktuasi Polarisasi z/h pada hari tenang**

Gambar 4.1 di atas memperlihatkan polarisasi power rasio z/h di hari tenang dari Stasiun Magnet Bumi Liwa (LWA) pada tanggal 21 April 2016 hingga 25 April 2016. Terlihat pola yang stabil dan datar pada hari tenang menggambarkan bahwa pada hari tersebut tidak terdapat gangguan badai magnet, aktifitas manusia, maupun aktifitas seismik. Pada gambar tersebut juga tampak nilai polarisasi rasio z/h tidak melebihi batas standar deviasi dan disebut dengan anomali polarisasi power rasio z/h.

**4.1.2 Hari Badai**

Hari badai merupakan hari dimana terdapat gangguan magnetic akibat peningkatan aktifitas magnetic di matahari seperti meningkatnya emisi angin surya. Badai magnetik bersifat sementara dapat berlangsung dalam kurun waktu jam hingga hari. Badai magnet diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori berdasarkan indeks DST (Disturbance Storm Index) (Leowe dan Prolls, 1997 ). Kategori badai magnet tersebut adalah badai magnet lemah (weak storm) dengan indeks DST < -30 nT, Moderate Storm dengan indeks DST anatara -100 nT - -50 nT, Intense Storm dengan indeks DST -200 nT - -100 nT, dan yang terkuat Super Storm dengan indeks DST < 200 nT.

**Gambar 4.2** Grafik Indeks DST dari Stasiun Magnetbumi LIWA (LWA) pada Oktober 2016.



**Gambar 4.3** Grafik Indeks DST dari Universitas Kyoto bulan Oktober 2016.

Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 merupakan grafik indeks DST di Stasiun Magnetbumi LIWA (LWA) yang memperlihatkan fluktuasi polarisasi z/h pada hari badai.Puncak badai tertitnggi terjadi pada tanggal 13 Oktober 2016 sebesar -104 nT pada Indeks DST (Provisional) dan -116 nT pada Stasiun Magnetbumi LIWA (LWA). Nilai Indeks DTS pada masing – masing gambar menunjukan bahwa badai magnet tersebut termasuk dalam kategori Intense Storm (-200 nT < Dst < -200 nT).

**4.1.3 Anomali *Ultra Low Frequency* di Daerah Penelitian**

Dalam penelitian ini data magnet bumi yang digunakan berasal dari Stasiun Magnet Bumi Liwa (LWA) tahun 2016 (Januari – Oktober). Data gempabumi berasal dari Stasiun Geofisika Kota Bumi Lampung berupa data gempabumi dengan magnitudo di bawah 5 (Mw < 5) dan kedalaman < 50Km. Berikut ini merupakan hasil analisa polarisasi power rasio z/h tahun 2016 di Stasiun Magnet Bumi Liwa (LWA).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Anomali** | **Onset time (Hari)** | **Origin Time (UTC)** | | **Lon** | **Lat** | **Depth (Km)** | **Mag(Mw)** | **Jarak (Km)** |
| 1 | 2016-02-28 | 13 | 12-Mar-16 | 19:13:43 | 104,28 | -6,13 | 18 | 4,3 | 125,8 |
| 2 | 2016-04-20 | 19 | 09-May-16 | 12:04:00 | 102,80 | -5,33 | 10 | 4,4 | 143,7 |
| 3 | 2016-07-06 | 6 | 12-Jul-16 | 20:45:21 | 104,01 | -4,88 | 10 | 3,9 | 16,5 |

**Tabel 4.1** Anomali polarisasi power rasio z/h di Stasiun Magnet Bumi Liwa 2016 untuk Gempa Bumi dengan Mw < 5.

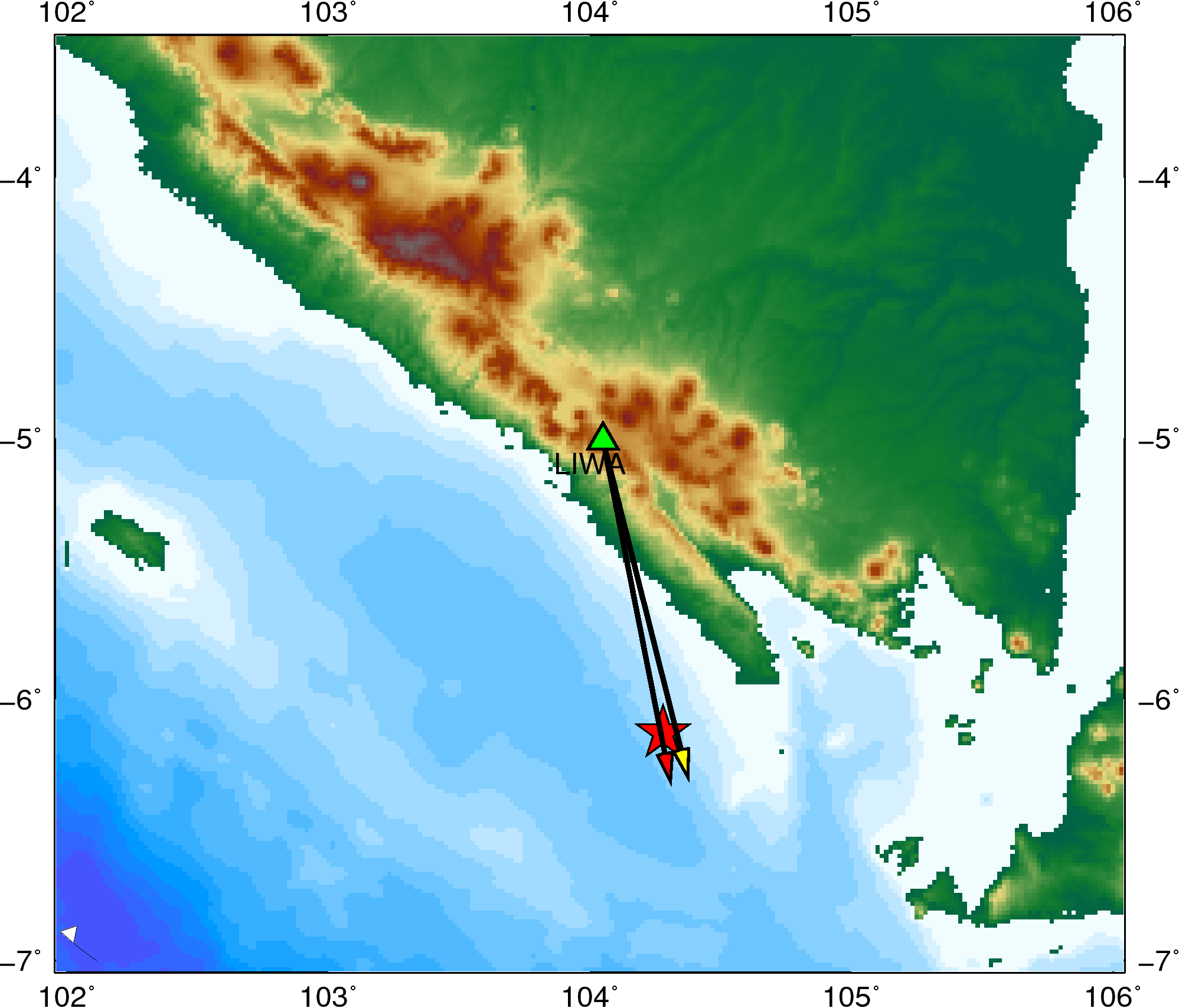
**4.2 Pembahasan**

**4.2.1 Gempa bumi 12 Maret 2016**

**Gambar 4.2** Anomali *ULF* sebelum gempa bumi 12 Maret 2016

Pada 12 Maret 2016 pukul 19:13:43 UTC terjadi gempa bumi berkekuatan 4,3 Mw dengan jarak episenter 125,8 Km tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa (LWA). Episenter gempa bumi terletak pada 6,13LS – 104,28BT di laut dengan kedalaman 18 Km. Hasil pengolahan data magnet bumi berupa polarisasi power rasio z/h 13 hari sebelum kejadian gempa bumi menunjukan terdapat anomali *ULF* pada tanggal 28 Februari 2016.

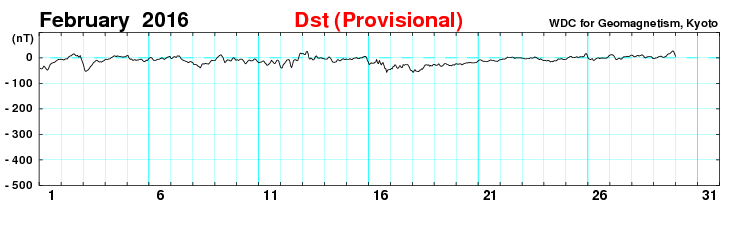
Hasil pengolahan dengan Metode Single Stasion Transfer Function menunjukan bahwa azimuth anomali tersebut berada pada 165,9480 Tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa. Azimut gempa bumi berada pada 168,90 Tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa.

****

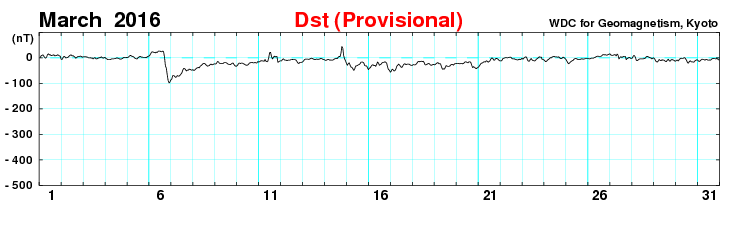
**Gambar 4.3** Lokasi episenter, azimuth anomaly *ulf* danazimuth gempabumi*.*

Gambar 4.3 memperlihatkan lokasi episenter gempabumi 12 Maret 2016. Arah panah warna merah merupakan azimuth gempa bumi tersebut sedangkan arah panah warna kuning adalah arah azimuth anomaly ulf. Dari gambar 4.3 tersebut juga bahwa terlihat arah dimana gempa bumi terjadi searah dengan arah datangnya anomaly *ULF*.

**(a)**

****

**(b)**

****

**(c)**

**Gambar 4.4 (a)** Grafik Indeks DST di Stasiun Magnet Bumi LIWA 27 Februari – 13 Maret 2016, **(b)** Grafik Indeks DST (Provisional) Februari 2016, dan **(c)** Grafik Indeks DST (Provisional) Maret 2016.

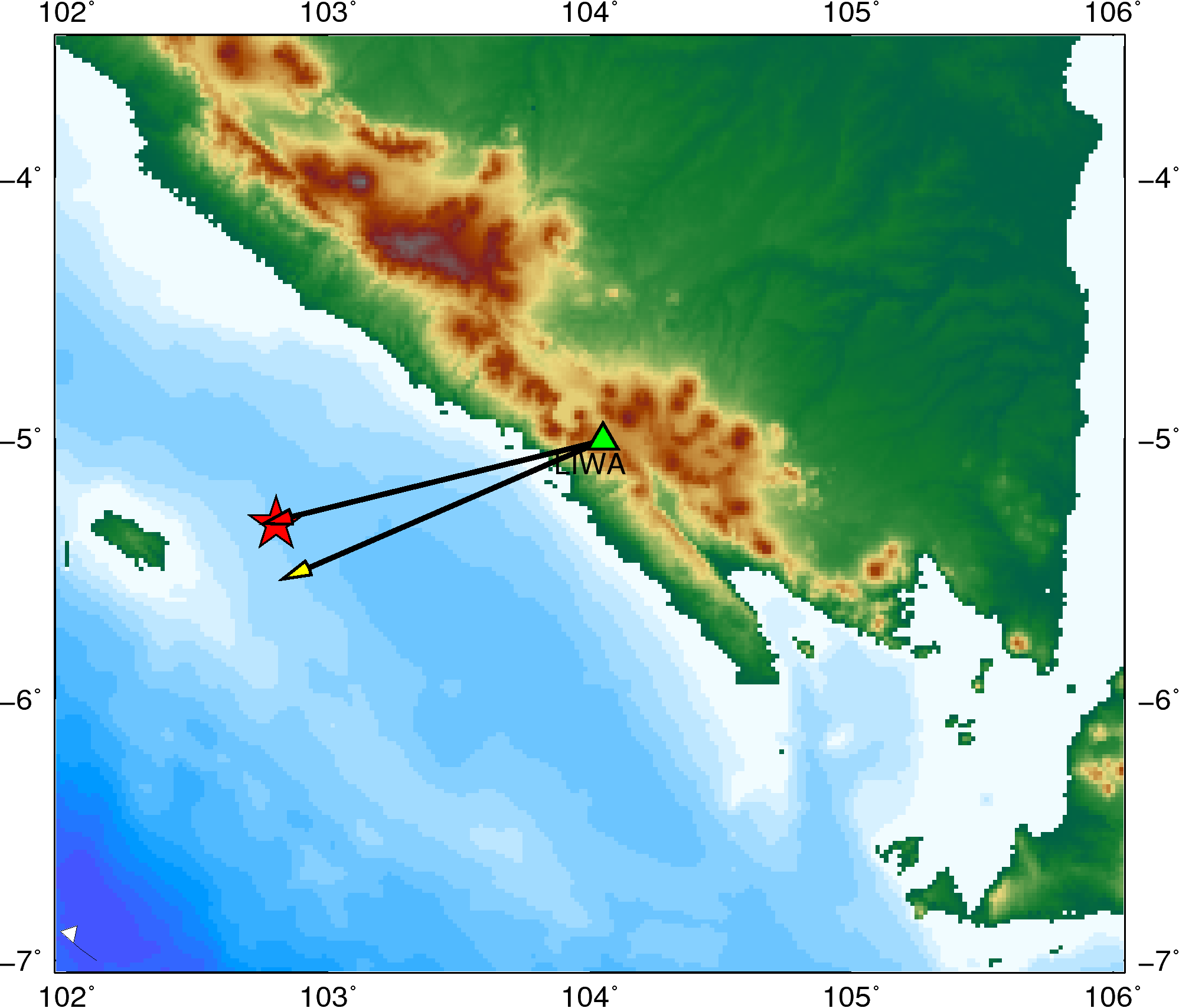
Gambar 4.4 merupakan indeks DST yang menunjukan pengaruh peningkatan aktifitas magnet bumi akibat badai magnetic atau angina matahari di beberapa Stasiun Magnet Bumi. Gambar 4.4 a menunjukan bahwa pada tanggal 28 Februari tepat dimana terdapat anomaly ULF terjadi tidak menunjukan adanya peningkatan aktifitas kemagnetan yang signifikan akibat angin surya yang dapat masuk kategori badai magnet di Stasiun Magnet bumi Liwa. Grafik indeks DST Provisional dari WDC Kyoto juga menunjukan tidak ada aktifitas badai magnetik pada tanggal 28 Februari 2016 seperti terlihat pada gambar 4.4b. Aktifitas badai magnetik tercatat pada tanggal 6-7 Maret 2017 seperti terlihat pada gambar 4.4a dan gambar 4.4c.

**4.2.2 Gempa bumi 9 Mei 2016**

**Gambar 4.5** Anomali *ULF* sebelum gempa bumi 9 Mei 2016

Pada 09 Mei 2016 pukul 12:04:00 UTC terjadi gempa bumi berkekuatan 4,4 Mw dengan jarak episenter 143,7 Km Barat Daya Stasiun Magnet Bumi Liwa (LWA). Episenter gempa bumi terletak pada 5,33LS – 102,80BT di laut dengan kedalaman 10 Km. Hasil pengolahan data magnet bumi berupa polarisasi power rasio z/h 19 hari sebelum kejadian gempa bumi menunjukan terdapat anomali *ULF* pada tanggal 20 April 2016.

Hasil pengolahan dengan Metode Single Stasion Transfer Function menunjukan bahwa azimuth anomali tersebut berada pada 246,4150 Tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa. Azimut gempa bumi berada pada 256,10 Barat Daya Stasiun Magnet Bumi Liwa.

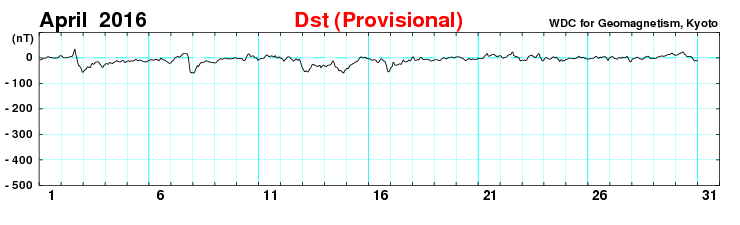
****

**Gambar 4.6** Lokasi episenter, azimuth anomali *ulf* dan azimuthgempabumi*.*

Gambar 4.6 memperlihatkan lokasi episenter gempabumi 09 Mei 2016. Arah panah warna merah merupakan azimuth gempa bumi tersebut sedangkan arah panah warna kuning adalah arah azimuth anomali *ulf*. Dari gambar 4.6 tersebut juga bahwa terlihat arah dimana gempa bumi terjadi searah dengan arah datangnya anomaly *ULF* yaitu arah barat daya Stasiun Magnet Bumi Liwa.

**(a)**

**(b)**



**(c)**

**Gambar 4.7** **(a)** Grafik Indeks DST 19 April – 10 Mei 2016 di Stasiun Magnet Bumi Liwa, **(b)** Grafik Indeks DST 20 April 2016 di Stasiun Magnet Bumi Liwa, dan **(c)** Grafik Indeks DST Provisional April 2016 dari *WDC for Geomagnetism, Kyoto.*

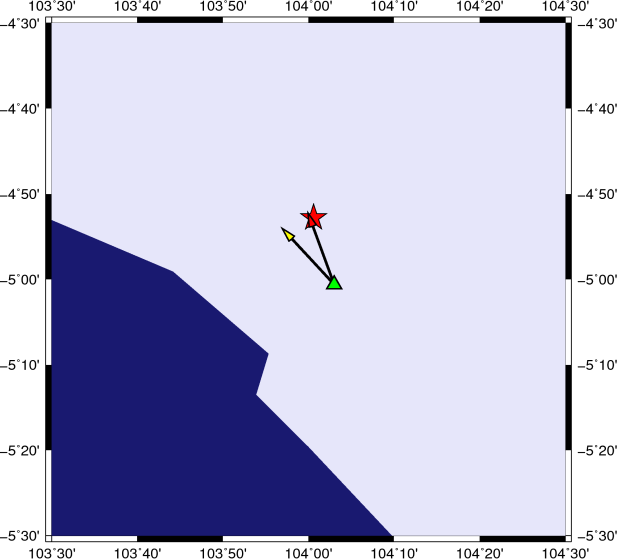
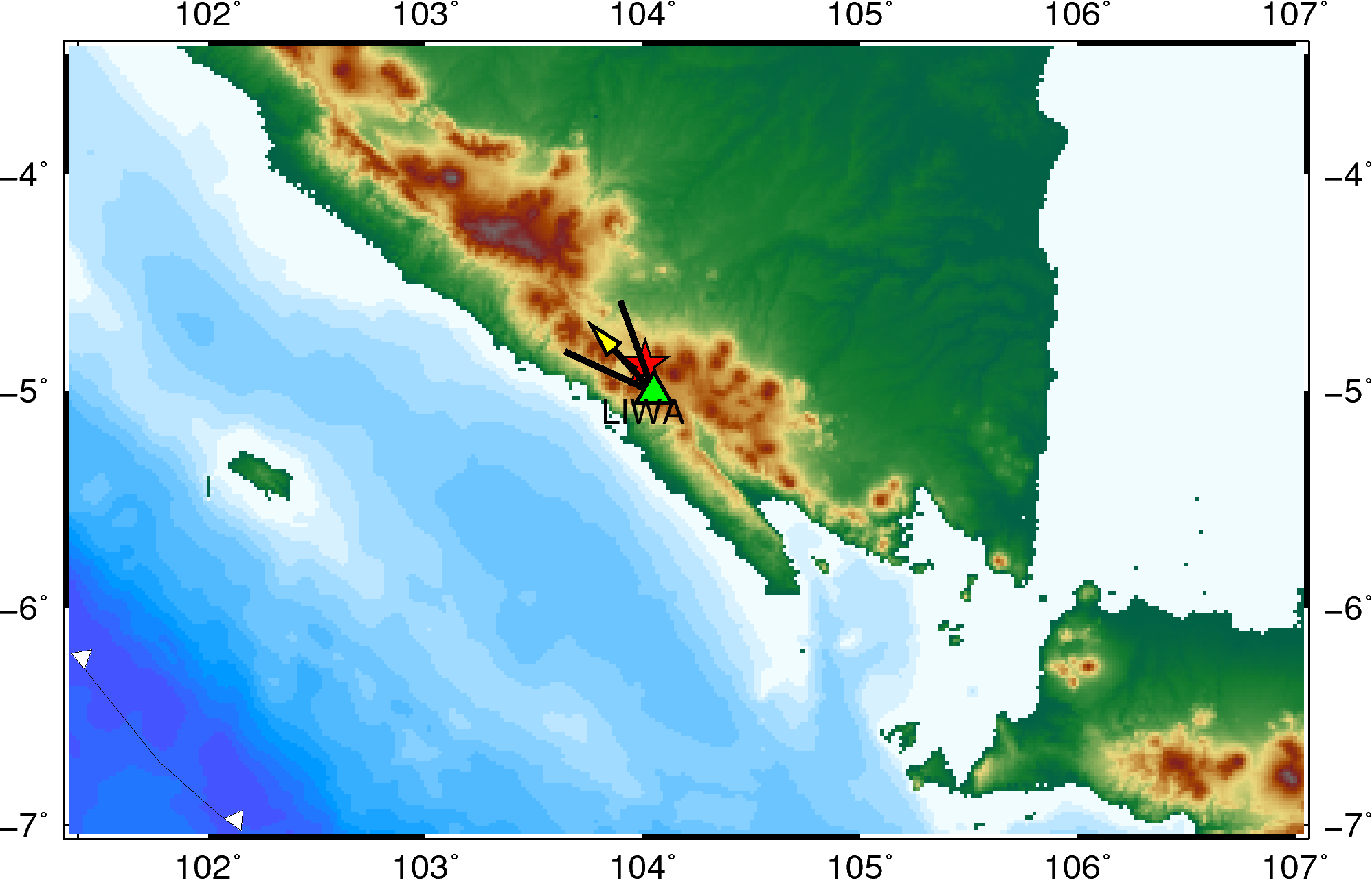
Gambar 4.7.a Memperlihatkan pada tanggal 20 April 2016 tidak terdapat peningkatan aktifitas magnetik akibat badai magnetik di Stasiun Magnet Bumi Liwa. Terlihat pula pada gambar 4.7.b nilai Indeks DST pada tanggal 20 tidak ada yang mencapai -30nT yang mengindikasikan badai magnetik lemah. Hal ini dapat diasumsikan bahwa anomali *ULF* pada tanggal 20 tersebut berasal dari aktifitas seismogenik di daerah persiapan gempa bumi. Indeks DST Provisional juga menunjukan tidak terdapat perubahan aktifitas kemagnetan akibat badai magnet seperti terlihat pada gambar 4.7.c.

**4.2.3 Gempa bumi 12 Juli 2016**

**Gambar 4.8** Anomali *ULF* sebelum gempa bumi 12 Juli 2016

Pada 12 Juli 2016 pukul 20:45:21 UTC terjadi gempa bumi berkekuatan 3,9 Mw dengan jarak episenter 16,5 Km Barat Laut Stasiun Magnet Bumi Liwa (LWA). Episenter gempa bumi terletak pada 4,88LS – 104,01BT di darat dengan kedalaman 10 Km. Hasil pengolahan data magnet bumi berupa polarisasi power rasio z/h 6 hari sebelum kejadian gempa bumi menunjukan terdapat anomali *ULF* pada tanggal 6 Juli 2016.

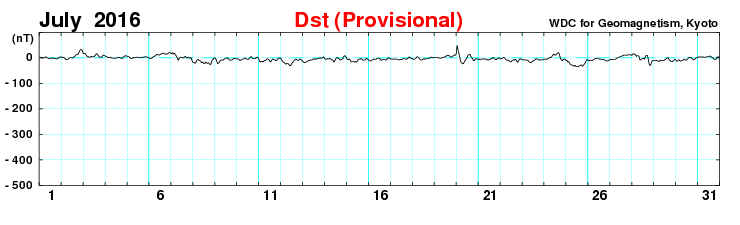
Hasil pengolahan dengan Metode Single Stasion Transfer Function menunjukan bahwa azimuth anomali tersebut berada pada 317,3190 Barat Laut Stasiun Magnet Bumi Liwa. Azimut gempa bumi berada pada 3400 Barat Laut Stasiun Magnet Bumi Liwa.



**Gambar 4.9** Lokasi episenter, azimuth anomali *ulf* dan azimuthgempabumi*.*

Gambar 4.9 memperlihatkan lokasi episenter gempabumi 12 Juli 2016. Arah panah berwarna merah merupakan azimuth gempa bumi tersebut sedangkan arah panah berwarna kuning adalah arah azimuth anomali *ulf*. Dari gambar 4.9 terlihat arah dimana gempa bumi terjadi searah dengan arah datangnya anomali *ULF* yaitu barat laut Stasiun Magnet Bumi Liwa.

**(a)**

****

**(b)**

**Gambar 4.10** (a) Grafik Indeks DST 5-12 Juli 2016 Stasiun Magnet Bumi Liwa, dan (b) Grafik Indeks DST Provisonal dari WDC, Kyoto.

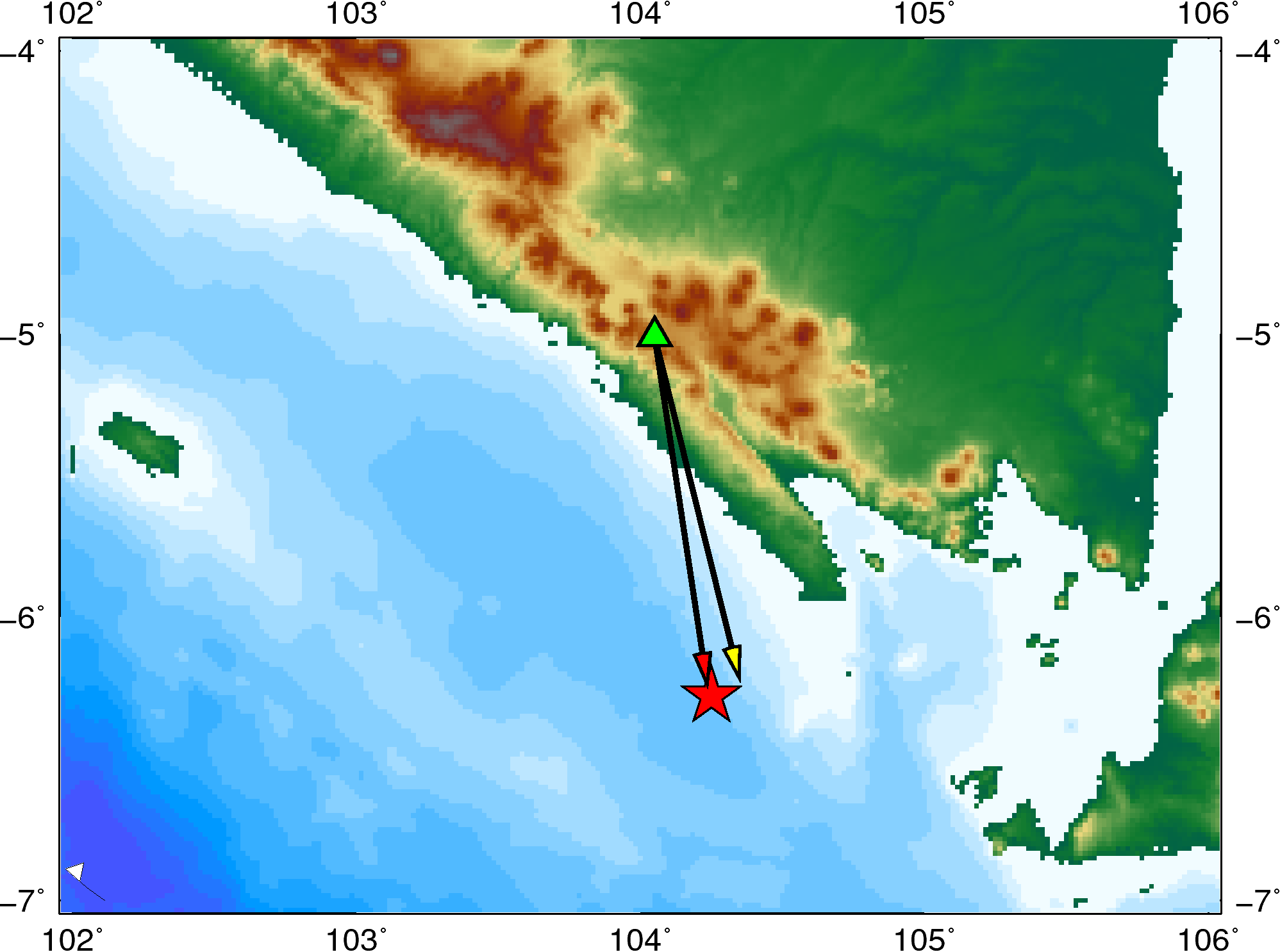
Gambar 4.10.a Memperlihatkan pada tanggal 06 Juli 2016 tidak terdapat peningkatan aktifitas magnetik akibat badai magnetik di Stasiun Magnet Bumi Liwa. Nilai Indeks DST pada tanggal 06 Juli tidak ada yang mencapai -30nT yang mengindikasikan masuk ke kategori badai magnetik lemah. Hal ini dapat diasumsikan bahwa anomali *ULF* pada tanggal 06 tersebut berasal dari aktifitas seismogenik di daerah persiapan gempa bumi. Indeks DST Provisional juga menunjukan tidak terdapat perubahan aktifitas kemagnetan akibat badai magnet seperti terlihat pada gambar 4.10.b.

**4.2.4 Gempa bumi 11 Agustus 2016**

**Gambar 4.11** Anomali *ULF* sebelum gempa bumi 11 Agustus 2016

Pada 11 Agustus 2016 pukul 16:20:16 UTC terjadi gempa bumi berkekuatan 3,9 Mw dengan jarak episenter 141,7 Km Tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa (LWA). Episenter gempa bumi terletak pada 6,28LS – 104,25BT di laut dengan kedalaman 28 Km. Hasil pengolahan data magnet bumi berupa polarisasi power rasio z/h 15 hari sebelum kejadian gempa bumi menunjukan terdapat anomali *ULF* pada tanggal 27 Juli 2016.

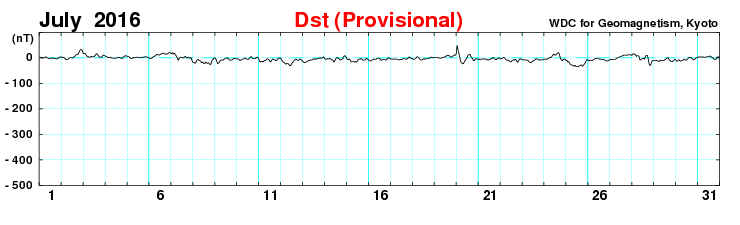
Hasil pengolahan dengan Metode Single Stasion Transfer Function menunjukan bahwa azimuth anomali tersebut berada pada 166,190 Tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa. Azimut gempa bumi berada pada 171,50 Tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa.

****

**Gambar 4.12** Lokasi episenter, azimuth anomali *ulf* dan azimuthgempabumi*.*

Gambar 4.11 memperlihatkan lokasi episenter gempabumi 11 Agustus 2016. Arah panah berwarna merah merupakan azimuth gempa bumi tersebut sedangkan arah panah berwarna kuning adalah arah azimuth anomali *ulf*. Dari gambar 4.11 terlihat arah dimana gempa bumi terjadi searah dengan arah datangnya anomali *ULF* yaitu Tenggara Stasiun Magnet Bumi Liwa.

**(a)**

****

**(b)**

**Gambar 4.13** (a) Grafik Indeks DST 26 Juli-11 Agustus 2016 Stasiun Magnet Bumi Liwa, dan (b) Grafik Indeks DST Provisonal Juli 2016 dari WDC, Kyoto.

Gambar 4.13.a Memperlihatkan pada tanggal 27 Juli 2016 tidak terdapat peningkatan aktifitas magnetik akibat badai magnetik di Stasiun Magnet Bumi Liwa. Nilai Indeks DST pada tanggal 27 Juli tidak ada yang mencapai -30nT yang mengindikasikan masuk ke kategori badai magnetik lemah. Hal ini dapat diasumsikan bahwa anomali *ULF* pada tanggal 27 Juli 2016 tersebut berasal dari aktifitas seismogenik di daerah persiapan gempa bumi. Indeks DST Provisional juga menunjukan tidak terdapat perubahan aktifitas kemagnetan akibat badai magnet seperti terlihat pada gambar 4.13.b.

**4.2.6 Waktu mula (Onset Time) Prekursor gempa bumi di Lampung**

Salah satu parameter prekursor gempa bumi adalah waktu mula munculnya anomali (onset time) sebelum terjadinya gempa bumi.Pengolahan data magnet bumi dari Stasun Magnet Bumi LIWA (LWA) dengan metodae polarisasi rasio z/h untuk gempa bumi dengan magnitude M<5 dan kedalaman kurang dari 50 km dapat dilihat pada table berikut :

**Tabel 4.2** Waktu mula (onset time) prekursor gempa bumi di Lampung

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Onset Time ( hari )** | **Magnitudo (Mw)** |
| 1 | 13 | 4,3 |
| 2 | 19 | 4,4 |
| 3 | 6 | 3,9 |

Untuk mengetahui kualitas hasil penelitian ini maka perlu penulis membandingan dengan hasil penelitian – penelitian sejenis terkait waktu mula (onset time) di Lampung dengan daerah – daerah lainnya. Waktu mula precursor gempa bumi hasil penelitian sebelumnya dapa dilihat pada table berikut.

**Tabel 4.3** Waktu mula precursor gempa bumi penelitian sebelumnya.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Gempa Bumi** | **Lokasi dan Peneliti** | **Jarak** | **Magnitudo** | **Onset time (Hari)** |
| 18 Oktober  1989 | Loma Prieta, USA  Fraser-Smith dkk. (1990) | 7 km | 7,1 | 12 hari |
| 8 Agustus  1993 | Guam Island, USA  Hayakawa dkk. (1996) | 65 km | 8,0 | 30 hari |
| 1 Juli  1998 | Matshshiro, Japan  Hattori (2004) | 25 km | 4,5 | 14 hari |
| 3 September  1998 | Iwateken-Nairi, Japan  Hattori (2004) | 15 km | 6,1 | 16 hari |
| 6 Maret  2007 | Singkarak, Indonesia  Ahadi dkk. (2014) | 79 km | 6,4 | 18 hari |
| 30 September  2009 | Padang, Indonesia  Ibrahim dkk. (2012) | 114 km | 7,6 | 23 hari |
| 30 September  2009 | Padang Indonesia  Ahadi dkk. (2014) | 114 km | 7,6 | 26 hari |
| 24 Juli  2010 | Siabu, Indonesia  Ahadi dkk. (2014) | 124 km | 5,3 | 4 hari |

Tabel 4.3 Memperlihatkan hasil onset time beberapa penelitian sebelumnya dimana waktu mula terlama muncul 30 hari gempa bumi dengan magnitude 8.0 Mw (Hayakawa dkk.,1996). Sementara untuk gempa – gempa dengan magnitude M,< 5 terdapat 2 hasil penelitian sebelumnya dengan waktu mula yang berbeda serta magnitudo yang berbeda pula. Terlihat pada table 4.3 hasil penelitian Hattori (2004) untuk gempa bumi Iwateken 1 Juli 1998 dengan magnitudo 4.5 waktu mula muncul 14 hari sebelum gempa bumi tersebut. Berikut ini merupakan kurva perbandingan yang menunjukan korelasi antara penelitian penulis dengan Hattori (2004). Penelitian Hattori (2004) yang digunakan merupakan gempa bumi Matshshiro dengan magnitudo 4,5.

**Gambar 4.14** perbandingan lead time dan magnitudo dengan penelitian Hattori (2004) untuk gempa bumi M<5.

Gambar 4.14 merupakan kurva korelasi antara *lead time* dan magnitudo hasil penelitian penulis dengan penelitian Hattori (2004) untuk gempa bumi dengan M<5. Pada kurva tersebut koefisien korelasi bernilai 0,7263 yang berarti hubungan tinggi (Suwarno, 2006) antara *lead time* dan magnitudo gempa bumi. Hal ini mengasumsikan semakin besar magnitudo maka *onset time* semakin jauh selama beberapa hari sebelum terjadi gempa bumi. Pada penelitian ini penulis mendapatkan hasil bahwa di daerah Lampung gempa bumi dengan magnitudo 4,4 Mw dapat terdeteksi ± 19 hari sebelum gempa bumi terjadi, 13 hari untuk gempa bumi dengan magnitudo 4,3 Mw dan 6 hari untuk gempa bumi dengan magnitudo 3,9 Mw.

**4.2.7 Korelasi Amplitudo Power Rasio Z/H Terhadap Magnitudo Gempa Bumi**

Amplitudo power rasio z/h merepresentasikan seberapa besar kekuatan energi yang dipancarkan oleh gelombang elektromagnetik dalam rentang ultra low frequency. Besarnya energy berkaitan dengan banyaknya energy yang dilepaskan akibat aktifitas micro-fracturing maupun electrokinetic selama akumulasi stress dan strain sebelum terjadinya gempa bumi. Rekahan – rekahan mikro yang terbentuk dan melepaskan energi bergantung pada besarnya akumulasi stress dan strain di daerah patahan sebelum terjadi gempa bumi. Berikut adalah informasi amplitudo power rasio z/h pada anomaly ulf yang diduga sebagai prekursor gempa bumi untuk masing – masing tersebut.

Tabel 4.4 Informasi amplitude power rasio z/h dan magnitudo gempa bumi.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| No | Gempa Bumi | Amplitudo Z/H | Magnitudo (Mw) | Jarak (Km) |
| 1 | 12-Maret-2016 | 13,713 | 4,3 | 125,8 |
| 2 | 09-Mei-2016 | 10,251 | 4,4 | 143,7 |
| 3 | 12-Juli-2016 | 4,338 | 3,9 | 16,5 |

Pada table 4.4 tampak amplitudo tertinggi terjadi pada gempa bumi 12 Maret 2016 dengan nilai amplitude power rasio z/h sebesar 13.713 dan terendah pada gempa bumi 12 Juli 2016 dengan nilai amplitudo power rasio z/h sebesar 4.338. Sedangkan hubungan amplitudo power rasio z/h terhadap magnitude gempa bumi dapat dilihat pada gambar berikut 4.15 berikut.

**Gambar 4.15** korelasi Amplitudo power rasio z/h terhadap magnitude gempa bumi.

Gambar 4.15 memperlihatkan hubungan yang tinggi antara amplitude power rasio z/h terhadap magnitude gempa bumi. Hal ini terlihat dari koefisien korelasi yaitu 0,7143 yang berarti hubungan kuat (Suwarno, 2006). Sedangkan rumus yang diperoleh dari hubungan amplitude power rasio z/h terhadap magnitude adalah sebagai berikut :

(4.1)

Keterangan :

Y = Magnitudo Gempa Bumi (Mw)

X = Amplitudo power rasio z/h

Dengan regresi linear amplitude power rasio z/h terhadap magnitude gempa bumi di peroleh rumus 4.1. rumus tersebut diharapkan dapat digunakan untuk memperkirakan seberapa besar magnitude gempa bumi yang akan terjadi di daerah sumber gempa bumi di Lampung.

**BAB V**

**KESIMPULAN**

**5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pengolahan data dan analisa, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Terdeteksi anomali *Ultra Low Frequency* sebelum terjadi gempa bumi dengan magnitude M<5 di daerah sumber gempa bumi di Lampung.
2. Waktu mula atau *onset time* di daerah penelitian terdeteksi 6-19 hari sebelum terjadinya gempa bumi.
3. Terdapat hubungan tinggi (Suwarno, 2006) antara besar amplitude power rasio z/h dengan magnitude gempa bumi dengan nilai koefisien korelasi 0,7143.

**5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan prekursor gempa bumi, penulis berharap untuk menggunakan data yang lebih banyak dan rentang waktu yang lebih lama. Memilih lokasi sumber gempa bumi pada suatu patahan yang spesifik juga dapat menggambarkan karakteristik anomalin ULF di patahan tersebut.ss