

**KARAKTERISTIK SINYAL EMISI ULF
YANG BERHUBUNGAN DENGAN PREKURSOR GEMPABUMI
DI SUMATERA, STUDI KASUS: GEMPABUMI PADANG 2009
DAN GEMPABUMI MENTAWAI 2010**

*CHARACTERISTIC ULF EMISSIONS
POSSIBLY ASSOCIATED WITH EARTHQUAKE PRECURSOR
IN SUMATRA, CASE STUDY: PADANG EARTHQUAKE 2009, AND MENTAWAI EARTHQUAKE 2010*

Gunawan Ibrahim¹, Suaidi Ahadi^{*2,3}, Sarmoko Saroso⁴

¹*Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132*

²*Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132*

³*Stasiun Geofisika Tuntungan Medan, BMKG Jl. Geofisika No.1 Tuntungan, Medan 20353*

⁴*Pusat Sains Antariksa, LAPAN, Jl. DR.Djunjunan No.133, Bandung, 40173*

**Email: su4idi@yahoo.com*

Naskah masuk: 4 Oktober 2012; Perbaikan terakhir: 12 Desember 2012; Naskah diterima: 20 Desember 2012

ABSTRAK

Karakteristik prekursor gempabumi yang berhubungan dengan anomali emisi ULF (Ultra Low Frequency, $f < 1$ Hz) medan magnet bumi dianggap paling potensial untuk studi prekursor gempa jangka pendek. Gempabumi Padang 2009, $M_w = 7,6$ dan gempabumi Mentawai 2010, $M_w = 7,8$ masing-masing berjarak 141 km dan 358 km dari KTB (Kototabang, Sumatera) sangat menarik untuk diteliti hubungannya dengan anomali emisi ULF tersebut. Kedua gempabumi tersebut memiliki magnitudo > 7 dengan jarak yang berbeda. Metode yang dilakukan adalah menganalisis data magnet bumi menggunakan periode 10 - 45 detik yang berasosiasi dengan gangguan magnet bumi eksternal dan hubungannya dengan prekursor gempabumi. Untuk memonitor dari gangguan eksternal digunakan dua indeks magnet bumi, yaitu Dst (untuk lintang rendah) dan E Dst (untuk ekuator), polarisasi power ratio komponen Z/H yang dibandingkan dengan stasiun referensi DAV (Davao Filipina) dan DAW (Darwin, Australia) yang merupakan jaringan MAGDAS untuk mewakili variasi medan magnet bumi di ekuator. Selanjutnya dilakukan polarisasi power ratio antara dua stasiun referensi yaitu $[H_{KTB}/H_{DAV}]$ dan $[H_{KTB}/H_{DAW}]$. Hasilnya diperoleh karakteristik dan lamanya anomali dari sinyal prekursor untuk kedua gempabumi tersebut adalah gempabumi Padang sebesar 23 hari dan gempabumi Mentawai 5 hari.

Kata kunci: prekursor gempabumi, Sumatera, magnet bumi, emisi ULF

ABSTRACT

Characteristics of earthquake precursors associated with anomalous ULF emission (Ultra Low Frequency, $f < 1$ Hz) geomagnetic field is considered the most potential for the study of short-term earthquake precursors. Padang Earthquake 2009, $M_w = 7.6$ and Mentawai earthquake 2010, $M_w = 7.8$ respectively is 141 km and 358 km from KTB (Kototabang, Sumatra) is very interesting to study the anomaly its relationship ULF emissions. Both earthquakes had magnitudes > 7 and different distances. The method used is to analyze data using period of 10-45 seconds associated with external geomagnetic disturbance and its relationship with earthquake precursors. To monitor geomagnetic disturbance use two indices, namely Dst (low-latitude) and E Dst (equator). Polarization power ratio Z/H were compared to reference station DAV (Davao, Philippines) and DAW (Darwin, Australia) which is to represent the network Magdas geomagnetic field variations at the equator. Further polarization power ratio between the two reference stations are $[H_{KTB}/H_{DAV}]$ and $[H_{KTB}/H_{DAW}]$. The results obtained from the signal characteristics and anomali ULF emission for both earthquake precursors Padang earthquake for 23 days and 5 days Mentawai earthquake.

Keywords: earthquake precursors, Sumatra, geomagnetic, ULF-emision

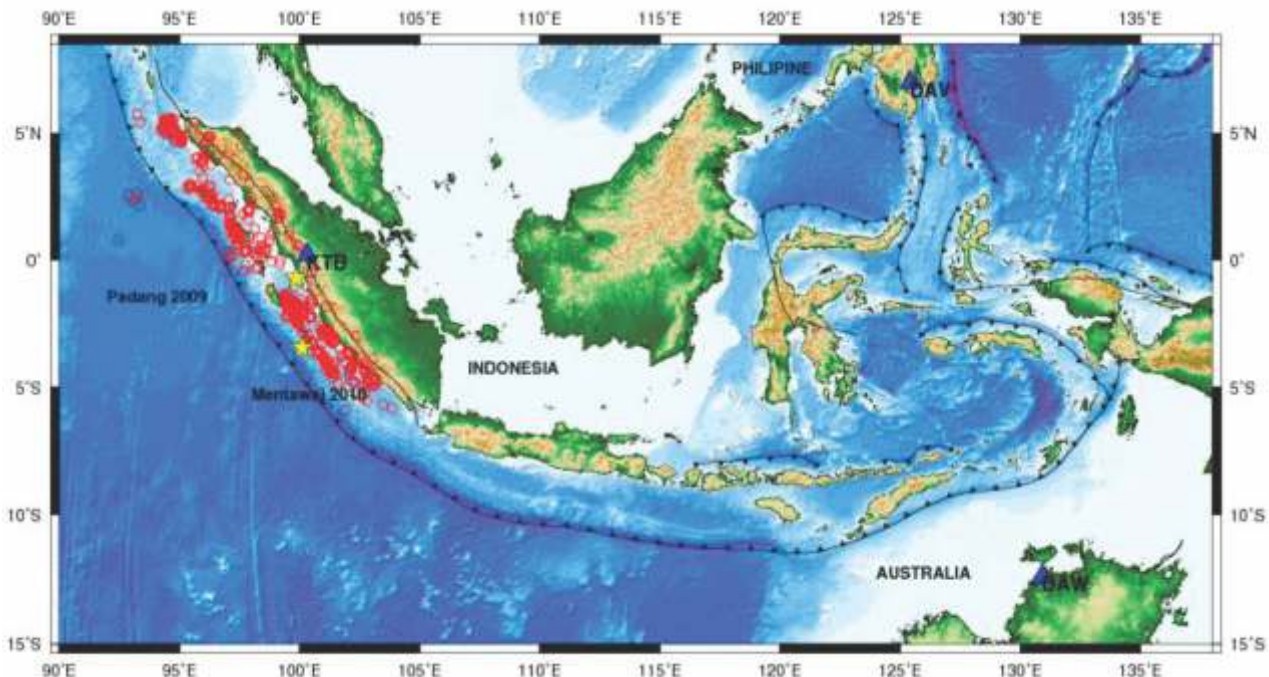
1. Pendahuluan

Sumatera merupakan salah satu pulau yang memiliki seismisitas paling aktif di Indonesia. Tataan tektonik sumatera dipengaruhi oleh aktivitas lempeng Samudera Indo-Australia yang bertumbukan dan menunjam di bawah lempeng benua Eurasia. Aktivitas tersebut mengakibatkan terjadinya peristiwa geologi berupa lipatan dan patahan aktif, sehingga terbentuklah busur luar Sumatera (*outer arc ridge*). Jajaran pulau yang merupakan representasi dari segmen-segmen sesar besar Sumatera (*megathrust*) dan memanjang sepanjang busur kepulauan tersebut [1]. Di pulau Sumatera sendiri terbentuk busur dalam (*inner arc ridge*) yang dikenal sebagai sistem patahan besar sumatera (*Sumatra Fault System, SFS*).

Gambar 1. memperlihatkan penyebaran gempabumi di Sumatera tahun 2002 - April 2012 [2]. Dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, pada periode tersebut pulau Sumatera telah beberapa kali mengalami gempabumi signifikan dan menimbulkan bencana [2] yaitu,

gempabumi Aceh 2004 ($M_w=9,0$), gempabumi Nias 2005 ($M_w=8,6$), gempabumi Padang 2007 ($M_w=6,5$), gempabumi Bengkulu 2008 ($M_w=8,4$; $M_w=7,9$; $M_w=7,0$), gempabumi Simelue 2009 ($M_w=6,5$), gempabumi Mentawai 2009 ($M_w=6,7$), gempabumi Padang 2009 ($M_w=7,6$), gempabumi Sinabang 2010 ($M_w=7,7$), gempabumi Mentawai 2010 ($M_w=7,8$) yang menimbulkan tsunami dan yang terakhir gempabumi Simeulue 2012 ($M_w=8,5$).

Gempabumi Padang 2009 ($M_w=7,6$) dan gempabumi Mentawai 2010 ($M_w=7,8$) (★, Bintang kuning) masing masing berjarak 141 km dan 385 km dari stasiun magnet bumi Kototabang (KTB) (▲, segitiga biru). Kedua gempabumi tersebut sangat menarik diteliti karena memiliki Magnitudo yang hampir sama $M_w>7$ dan jarak yang berbeda yang tujuannya untuk mengetahui Karakteristik sinyal anomali emisi ULF yang berhubungan dengan posisi jarak episenter terhadap stasiun Magnet bumi KTB.

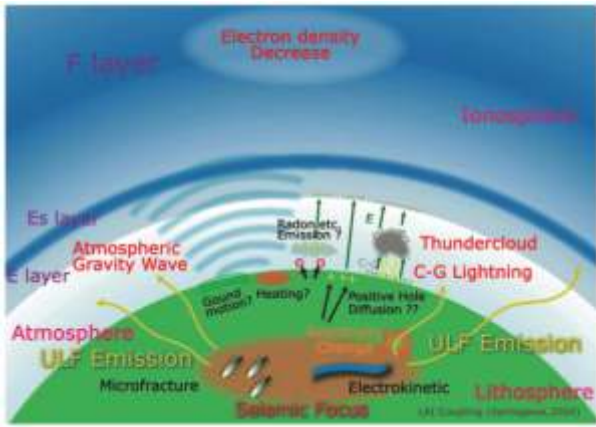


Gambar 1. Seismisitas gempabumi kuat sumatera ($M_w > 5$) periode 2002-2012 (○, Lingkaran merah), Episenter gempa Padang 2009 dan gempabumi Mentawai 2010 (★, Bintang kuning) [2] dan stasiun Magnet bumi (▲, segitiga biru) untuk KTB (Kototabang, Indonesia), DAV (Davao, Filipina), DAW (Darwin, Australia)

Analisis sinyal menggunakan data dari stasiun magnet bumi Kototabang (KTB) dengan stasiun referensi menggunakan Jaringan MAGDAS (*Magnetic Data Acquisition System*) yaitu stasiun Davao (DAV) di Filipina dan Darwin (DAW) di Australia (▲, segitiga biru). Dengan posisi kordinat stasiun Kototabang ($0,2^\circ$ LU - $100,3170$ BT) dan stasiun Davao ($7,0^\circ$ LU - $130,92^\circ$ BT) dan stasiun Darwin ($12,41^\circ$ LS - $125,40^\circ$ BT).

Mekanisme mengenai anomali magnet bumi yang berhubungan dengan aktivitas gempabumi telah dijabarkan oleh Hayakawa dan Kamogawa (2004) dalam

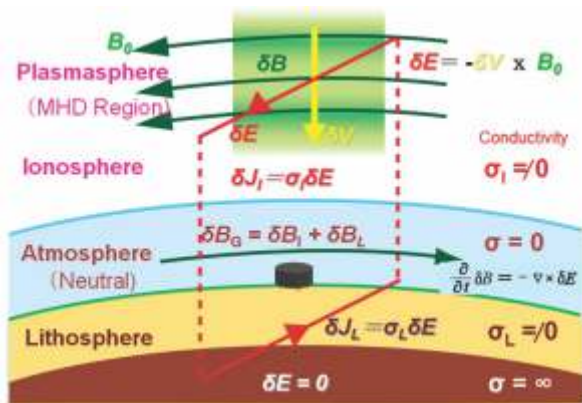
Hattori [3]. Mereka meng-ilustrasikan ketiga model tersebut, dalam gambar 2 menunjukkan tiga model dari mekanisme gelombang ULF. Dua model menjelaskan tentang emisi ULF yang disebabkan oleh *micro-fracturing* yaitu efek elektrokinetik dan efek *micro-fracturing* dan satu model menjelaskan tentang perubahan amplitudo gelombang elektromagnetik yang dilihat dari *Power Ratio* (Z/H) dimana komponen H dan Z sangat berpengaruh terhadap perubahan medan magnet bumi. Yumoto [7] menjelaskan mengenai mekanisme LAI coupling yang berhubungan anomali emisi ULF.



Gambar 2. LAI (Litosfer, Atmosfer dan Ionosfer) Coupling, (Kamogawa,2004) dalam Hattori [3]

Untuk menentukan karakteristik tanda (signature) dari prekursor gempa bumi dengan data magnet bumi dibutuhkan teknik prekursor dengan waktu yang singkat (30 hari) karena apabila digunakan pengamatan dalam waktu yang panjang akan sangat sulit dilakukan untuk mencari tanda dari prekursor gempa bumi tersebut yang mungkin bercampur dengan anomali dari gempa lainnya. Data magnet bumi dipakai untuk menentukan prekursor gempa bumi pada emisi gelombang elektromagnetik spektrum Ultra Low Frequency, ULF ($f \leq 1$ Hz) yang dianggap paling prospektif untuk prekursor gempa bumi. Pemantauan prekursor tersebut sangat memungkinkan untuk mendukung prekursor gempa bumi dengan orde waktu pendek [3].

Analisis ULF yang berasosiasi dengan gempa bumi di Sumatra telah dilakukan oleh Saroso [4] dengan menggunakan stasiun Kototabang (KTB) dan stasiun referensi stasiun Biak (BIK) untuk gempa bumi Aceh 2004 dan gempa bumi Nias 2008. Penggunaan stasiun referensi diusulkan oleh Thomas [5,6] yang telah melakukan analisis ulang hasil penelitian prekursor gempa bumi yaitu Loma Prieta 1989 dan Guam 1993.



Gambar 3. Mekanisme fisis emisi ULF pada lapisan Litosfer (Warna kuning gading), Atmosfer (Warna biru laut), Ionosfer dan Ionosfer (warna putih) yang berhubungan dengan LAI Coupling[7]

Mekanisme fisis untuk perubahan emisi ULF yang berasosiasi dengan gempa bumi dilakukan pendekatan oleh Yumoto dkk.,[7] yang di jelaskan sebagai berikut:

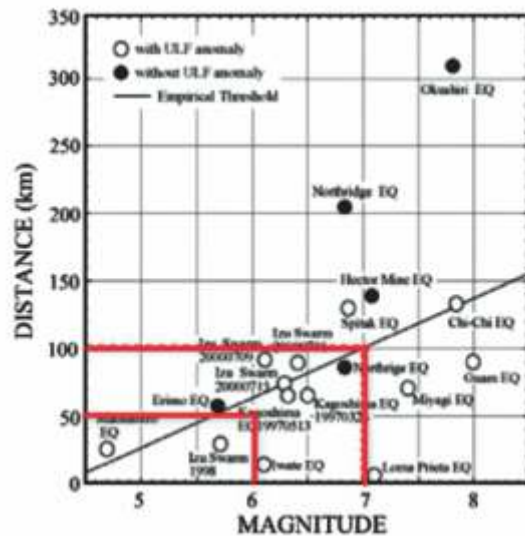
1. Apabila partikel bermuatan (δB_L) masuk ke atmosfer bumi maka menghasilkan perubahan induksi listrik (dJ_L) di permukaan bumi. Induksi listrik tersebut juga meng-induksi medan magnet-bumi (δB_G) di permukaan. Variasi medan magnet-bumi menjadi $\delta B_G = \delta B_L$ sehingga menghasilkan suatu persamaan sebagai berikut:

$$\delta B_G = 1 + \delta B_L / \delta B_T \quad (1)$$

2. Rasio dari ionosfer (δB_L) yang direfleksikan pada litosfer (δB_L) adalah fungsi dari konduktivitas elektrik (S_I, S_L) di dalam ionosfer dan litosfer yang meng-induksi periode gelombang (T) gelombang ULF. Jika konduktivitas elektrik di litosfer terganggu maka terjadi perubahan amplitudo medan magnet bumi (Merzer dan Klemperer, 1997).
3. Intensitas arus induksi di bawah permukaan tergantung dari periode gelombang yang meng-induksinya di dalam ionosfer dan litosfer. sehingga menghasilkan suatu persamaan sebagai berikut:

$$\delta (Km) = \sqrt{\left(\frac{T}{\pi \mu \sigma}\right)} \quad (2)$$

Pada Gambar 4 ditunjukkan hubungan antara magnitudo gempa bumi, jarak episenter terhadap stasiun magnet bumi dapat diamati dengan baik pada gempa bumi dengan magnitudo ≥ 7 SR dengan jarak 100 km dan gempa bumi dengan magnitudo ≥ 6 SR dengan jarak antara 70 - 80 km, Hattori [6].



Gambar 4. Hubungan antara jarak, magnitudo gempa bumi dan anomali prekursor gempa bumi. Dengan anomali ULF (O, lingkaran blok putih) dan tidak dengan anomali (●, lingkaran blok hitam) Anomali ULF Hattori [3]

Faktor amplifikasi dari emisi ULF disini harus proporsional dan sebanding dengan magnitudo gempabumi dan berbanding terbalik dengan jarak stasiun pemantau (*observatory*) magnet bumi dan jarak episenter gempabumi.

Indeks magnet bumi digunakan untuk monitoring aktifitas gangguan eksternal. Untuk lintang rendah (low latitude) dan didekat ekuator maka digunakan indeks Dst (*Disturbance storm time*) dan E Dst (*Electro jet Disturbance storm time*) [8]. Dengan menggunakan kedua indeks magnet bumi tersebut maka gangguan magnetik yang terjadi akibat gangguan eksternal di sekitar ekuator dapat diamati dengan baik.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mempelajari tanda prekursor dan karakteristik dari kedua gempabumi kuat yang memiliki magnitudo yang sama dan jarak berbeda dari stasiun pengamat.

2. Metode Penelitian

Yumoto [7] mengenalkan teknik dalam melakukan studi prekursor gempabumi, yaitu dengan polarisasi *power ratio* dan komparasi sinyal untuk komponen H dan Z. Analisis polarisasi rasio menggunakan analisis spektral pada spektrum ULF. Spektrum berisi berbagai kumpulan frekuensi (*frequency content*) yang dipresentasikan dalam domain frekuensi.

Untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dibutuhkan tranformasi Fourier yang di definisikan dalam:

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i k x} dx \quad (3)$$

dengan menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*). FFT adalah Algoritma *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang didefinisikan dalam:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i2\pi kn/N} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4)$$

Kemudian dapat ditulis dalam persamaan gelombang dimana $W_N = e^{(-2\pi i)/N}$ maka didapat hubungan sebagai berikut:

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) \omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (5)$$

Pada algoritma DFT dibutuhkan frekuensi sampling $2N^2$ untuk menghindari terjadinya *aliasing* (Frekuensi di luar jangkauan) yang akan tampak seperti fungsi *sinc* (*sinus cardinal*) adalah fungsi yang sering muncul dalam pemrosesan sinyal atau disebut *function sampling* dimana telah dinormalisasi menjadi $\int_{-\infty}^{\infty} \sin c(x) dx = \pi$. Dalam rangka untuk menormalisasi semua komponen Fourier maka dibutuhkan frekuensi batas menggunakan *sampling rate* (v) dari instrument yang disebut frekuensi *Nyquist* dengan hubungan:

$$f_{Nyquist} = \frac{1}{2} v \quad (6)$$

Untuk menganalisis spektral digunakan *Power Spectral Density* (PSD) dengan metode *Welch* yang membagi panjang sinyal (N data) ke dalam beberapa segmen yang overlapping 50% pada setiap segmen. Pada setiap segment dilakukan FFT atau disebut nFFT yang menggunakan tipe jendela (*window*) dengan tipe *Hamming* dan panjang jendela $L = N + 1$ dengan hubungan sebagai berikut:

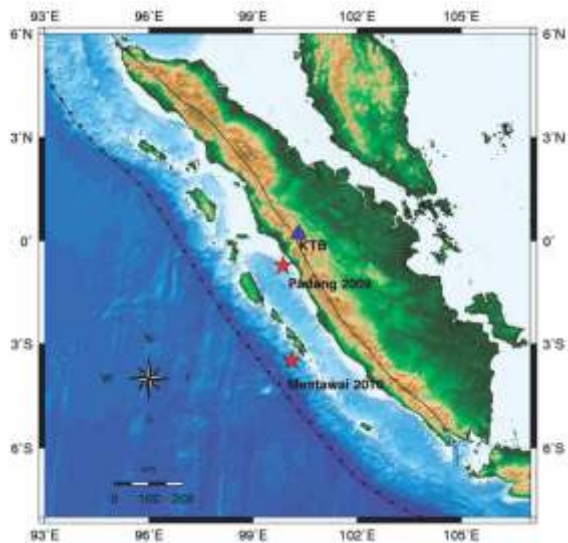
$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n/N), 0 \leq n \leq N \quad (7)$$

Teknik untuk penentuan prekursor gempabumi dengan emisi ULF oleh Yumoto [7] menggunakan polarisasi *power ratio* Komponen (Z/H) dan ratio komponen H dekat sumber terhadap komponen H stasiun referensi, yaitu rasio terhadap stasiun terdekat dengan sumber gempabumi dan stasiun yang jauh. Juga membuat rasio terhadap rata-rata tahunannya.

Pada penelitian ini kami memodifikasi apa yang telah dilakukan oleh Yumoto [7] yaitu sebagai berikut: Pengolahan *raw-data magnet* bumi dengan *sampling rate* 1/detik di stasiun Kototabang dilakukan dengan melakukan spektral analisis sinyal elektromagnet pada spektrum *Ultra Low Frequency*. ULF untuk komponen H dan Z ($Pc 3 = 10 - 45$ detik) dengan panjang jendela (*windowing*) 1024 menggunakan *Welch window* dengan *overlap window* 64 data tujuannya adalah agar data dapat terlihat lebih *smooth* (halus). Hasil dari analisis spektral tersebut, kemudian dibandingkan (rasio) untuk mendapatkan pola anomali yaitu dengan: polarisasi *power ratio* [Z/H KTB] yang di bandingkan dengan stasiun referensi [Z/H DAV] dan [Z/H DAW] kemudian dilakukan diff yaitu membandingkan komponen H KTB dan Stasiun Referensi H_{KTB}/H_{DAW} dan H_{KTB}/H_{DAV} yang digunakan untuk mencari anomali dari prekursor gempabumi. Langkah selanjutnya adalah dibandingkan dengan indeks Dst dan indeks E Dst untuk monitoring gangguan magnet bumi eksternal.

4. Hasil Dan Pembahasan

Gempabumi Padang 2009 dan gempabumi Mentawai 2010 merupakan kajian dalam penelitian prekursor gempabumi yang berhubungan dengan anomali sinyal magnet bumi dari emisi ULF ($f < 1$ Hz).

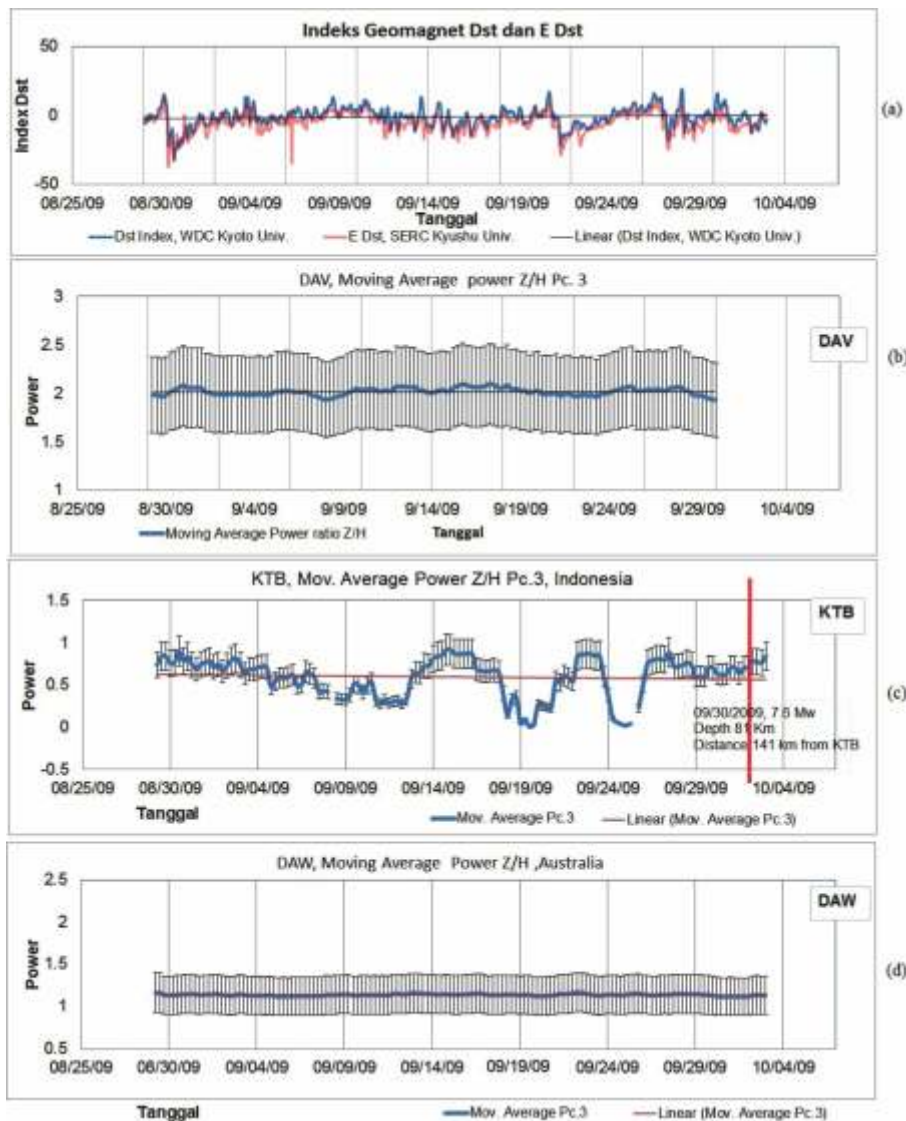


Gambar 5. Episenter gempa Padang 2009 ($M_w=7,6$; Jarak 141 km dari KTB) dan gempa bumi Mentawai 2010 ($M_w=7,8$; Jarak 358 km dari KTB) (★, Bintang Merah) dan Stasiun KTB (▲, Segitiga Biru)

Kedua gempa bumi tersebut sangat menarik diteliti karena memiliki skala magnitudo gempa bumi yang hampir sama ($M_w > 7$) dan jarak yang berbeda yang diukur dari posisi episenter terhadap stasiun magnet bumi Kototabang (KTB). Pada gambar 5 ditunjukkan posisi episenter gempa bumi Padang 2009 dan gempa bumi Mentawai 2010 (★, Bintang Merah) yang masing masing berjarak 141 km dan 358 km dari stasiun magnet bumi Kototabang (▲, Segitiga Biru).

Gempabumi Padang 2009

Gempabumi berkekuatan $M_w=7,6$ episenter: 0.730 LS - 99.860 BT, kedalaman: 71 km telah menguncang kota Padang pada akhir bulan September 2009. Pusat gempa bumi tersebut terletak di laut sekitar 70 km dari kota Padang.



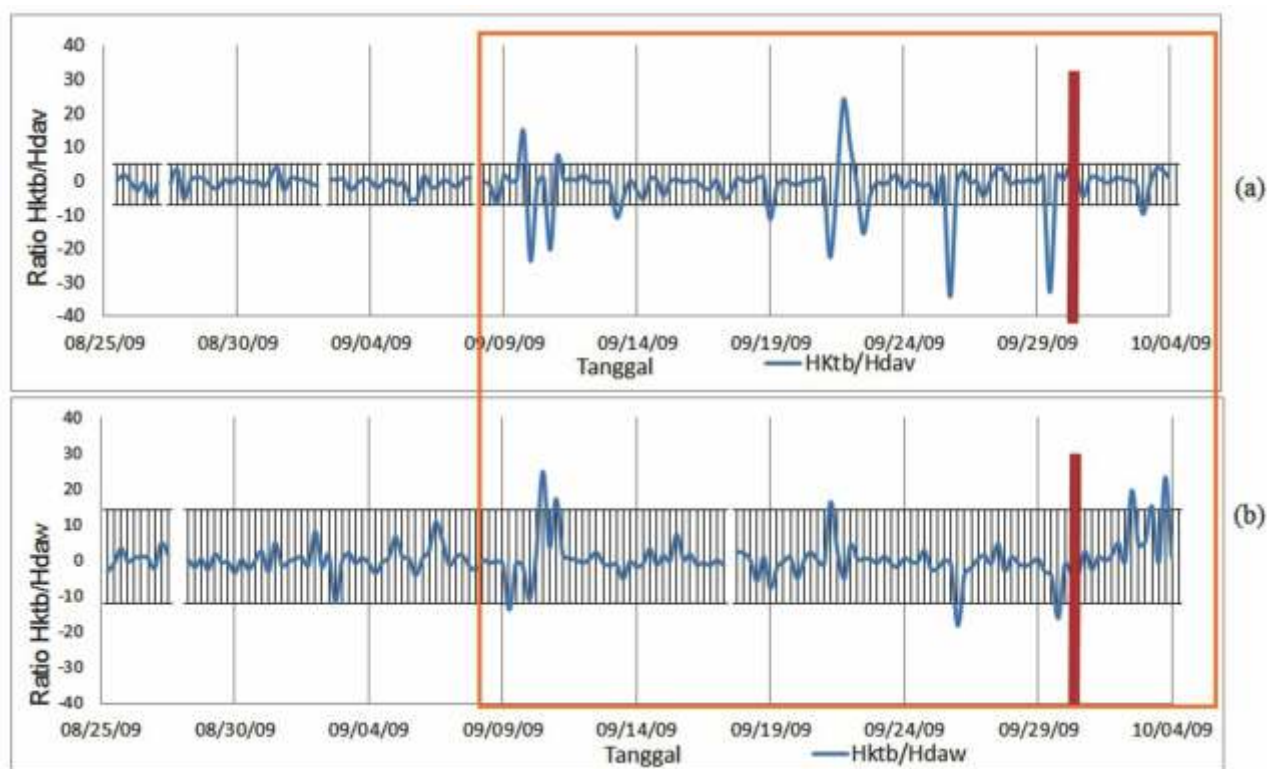
Gambar 6. (a) Indeks Magnet bumi Dst (-, garis biru) dan E Dst (-, garis merah)[10;11] (b) Power ratio Z/H DAV (c) Power ratio Z/H KTB dan (d) Power ratio Z/H DAW dimana (-, garis biru) dan standar deviasi error bar (arsiran garis tegak), kejadian gempa bumi padang 2009 (|, garis merah tegak)

Dari Indeks Dst, WDC-Kyoto University [10] dan E Dts, ICSWSE Kyushu University [11] diperoleh bahwa pada bulan September 2009, gangguan pulsa magnet bumi dari aktivitas Matahari sangat kecil sehingga apabila terjadi anomali gangguan magnet bumi bukan berasal dari pengaruh aktivitas badai Matahari.

Gambar 6 memperlihatkan data Indeks geomagnetik Dst (garis biru) dan E Dst (garis merah) yang memperlihatkan pada masa tersebut adalah hari tenang (*quite day*) artinya tidak ada gangguan magnetik dari eksternal. Selanjutnya polarisasi *power ratio* untuk komponen [Z/H KTB] menunjukkan terjadinya anomali jika dibandingkan dengan kedua Stasiun remote untuk [Z/H DAV] dan [Z/H DAW] yang ditunjukkan oleh standar deviasi error bar (blok garis hitam) sebelum terjadinya gempa bumi Padang (garis tebal merah). Pada *power ratio* [Z/H KTB] (garis biru) dan rata-ran bergerak (*moving average*) (garis hitam)

menunjukkan bentuk adanya penurunan harga Z/H dan kembali naik sebelum gempa bumi selama 23 (dua puluh tiga) hari sebelum terjadi gempa bumi yang dalam arti fisis dapat dikatakan bahwa selama penurunan harga Z/H batuan di bawah permukaan mengalami *stress*-batuan dan terjadinya kenaikan harga Z/H karena adanya *strain*-batuan (tarikan) yang kemudian batuan tersebut patah.

Untuk lebih menyakinkan bahwa anomali tersebut bukan berasal dari aktivitas badai Matahari dan aktivitas lainnya maka dilakukan metode *diff* (yaitu: membandingkan antara komponen $H_{sta.dekat}$ dengan komponen $H_{Referensi}$) yaitu stasiun Kototabang (KTB) dan stasiun referensi Davao (DAV) dan Darwin (DAW), tujuannya adalah untuk membandingkan nilai antara komponen H_{KTB} yang memiliki anomali dan kedua stasiun referensi H_{Dav} dan H_{DAW} yang lebih tenang.

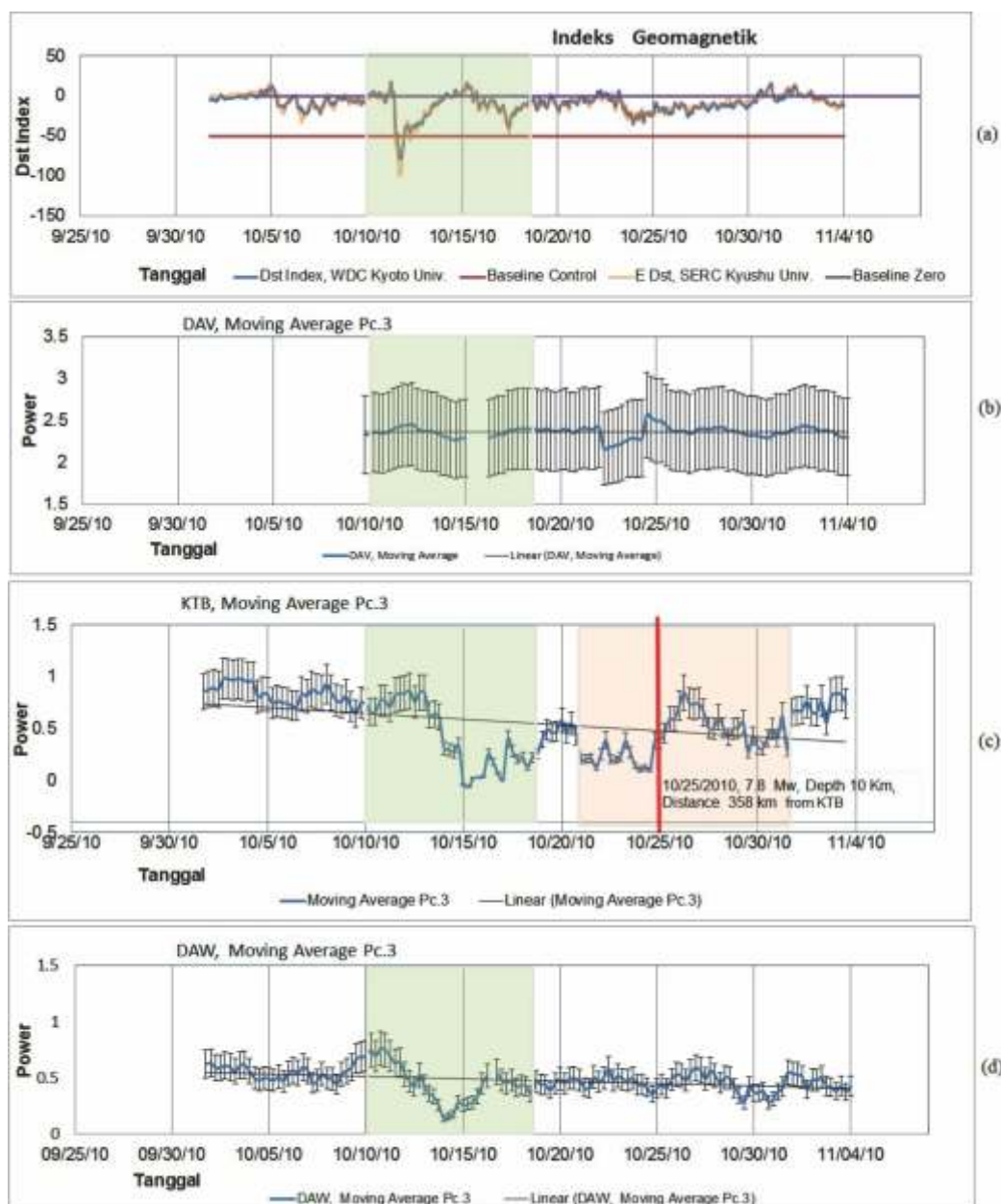


Gambar 7. (a) Polarisasi *power ratio* H_{KTB}/H_{Dav} dan (b) Polarisasi *power ratio* H_{KTB}/H_{Daw} sinyal polarisasi *power ratio* $H_{sta.dekat}/H_{sta.referensi}$ (-, garis warna biru), Standar deviasi σ (arsiran garis tegak), kejadian gempa Padang 2009 (garis tegak warna merah) dan kemungkinan prekursor gempa (□, blok garis orange)

Pada Gambar 7 diperlihatkan adanya peningkatan anomali gangguan magnetik sebelum terjadinya gempa bumi dengan menunjukkan peningkatan sinyal H_{KTB}/H_{Dav} dan H_{KTB}/H_{Daw} yang ditunjukkan oleh pulsa yang melewati standar deviasinya (σ). Dari Gambar 5 dan 6 dapat dijelaskan secara fisis bahwa aktivitas gangguan tersebut disebabkan oleh aktivitas dari bawah permukaan dan merupakan prekursor dari gempa bumi Padang 2009.

Gempabumi Mentawai 2010

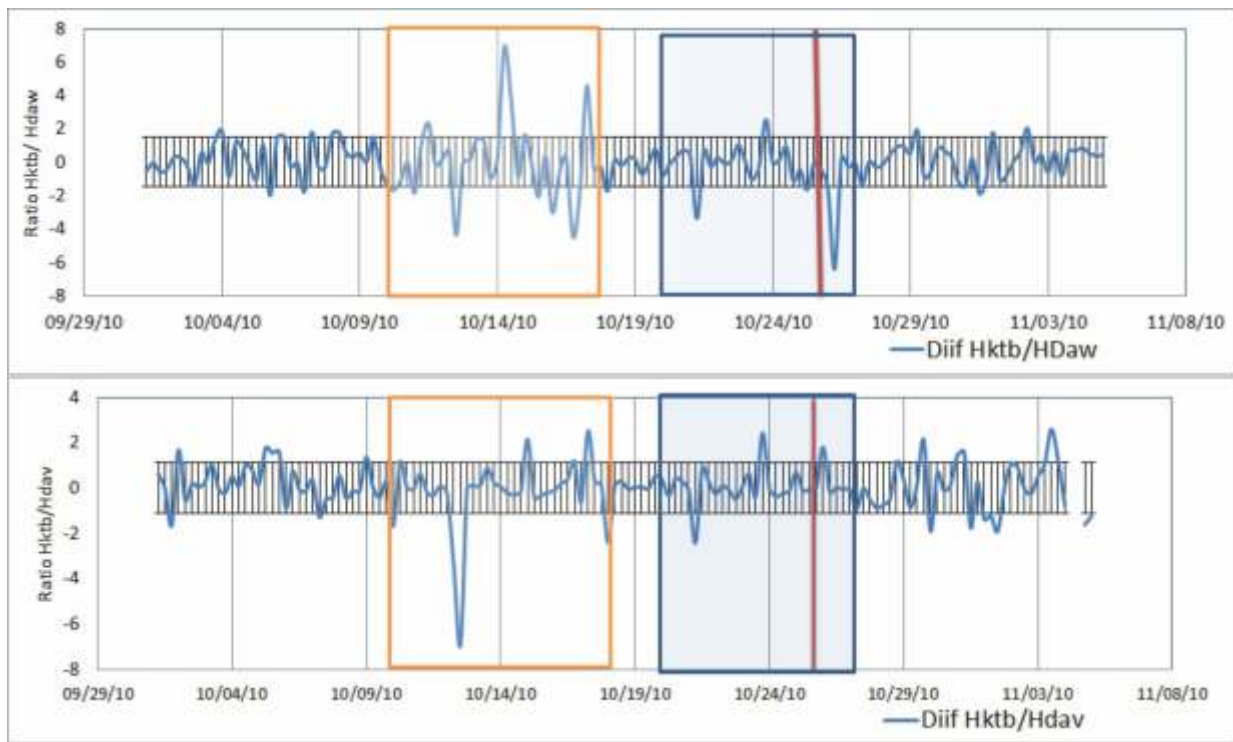
Gempabumi berkekuatan $M_w = 7,8$ episenter: $3,48^\circ LS - 100,1^\circ BT$ Kedalaman 10 km, telah mengguncang kepulauan Mentawai pada akhir bulan Oktober 2010 (25 Oktober 2010) yang menyebabkan tsunami. Pusat gempabumi terletak di laut, sekitar 358 km dari stasiun Kototabang.



Gambar 8. (a) Indeks Magnet bumi Dst (-, garis biru) dan E Dst (-, garis merah)[10;11] (b) Power ratio Z/H DAV (c) Power ratio Z/H KTB dan (d) Power ratio Z/H DAW dimana (-, garis biru) dan standar deviasi error bar (arsiran garis tegak), kejadian gempabumi Mentawai 2010 (% , garis merah tegak)

Gempabumi Mentawai 2010 memiliki jarak yang berbeda dengan gempabumi Padang 2009, walaupun menghasilkan magnitudo yang hampir sama. Gempabumi dengan Magnitudo > 7 akan dapat terlihat gangguannya dengan baik pada jarak ± 100 km, Hattori[16], sedangkan gempabumi Mentawai 2010 mempunyai jarak lebih jauh, yaitu 358 km. Tulisan ini

menjadi lebih menarik karena untuk gempabumi berjarak > 350 km belum pernah diteliti oleh peneliti sebelumnya. Sebelum kejadian gempa tersebut terjadi badai magnetik yang signifikan yaitu yang dimulai pada tanggal 13 - 18 Oktober 2010 yang dapat dilihat di Indeks magnet bumi baik Dst maupun E Dst (gambar 8.a) dan kembali tenang pada hari setelahnya.



Gambar 9. (a) Polarisasi power ratio H_{KTB}/H_{DAW} dan (b) Polarisasi power ratio H_{KTB}/H_{DAW} sinyal polarisasi power ratio $H_{sta.dekat} / H_{sta.referensi}$ (-, garis warna biru), Standar deviasi (arsiran garis tegak), kejadian gempa Mentawai 2010 (garis tegak warna merah), Kejadian Badai magnetik (□, blok garis biru) dan kemungkinan prekursor gempa (□, blok garis oranye)

Pada gambar 8 (b,c dan d) yaitu polarisasi power ratio Z/H dalam blok hijau terlihat sinyal anomali yang disebabkan oleh badai magnet bumi. Jadi untuk dapat melihat anomali prekursor gempabumi memang sangat sulit dikarenakan ada gangguan pulsa magnetik dari aktivitas badai Matahari satu minggu sebelumnya dan posisi gempabumi yang sangat jauh dari stasiun Kototabang, tapi dengan menggunakan stasiun referensi yaitu Davao dan Darwin maka anomali dapat terlihat

Kurva pada Gambar 9 tersebut anomali emisi ULF dapat terlihat di KTB jika dibandingkan dengan stasiun referensi DAV dan DAW yang lebih tenang, sebelum terjadi anomali emisi ULF untuk prekursor gempabumi mentawai terjadi gangguan dari magnet bumi eksternal (blok hijau) yang terekam di indeks magnet bumi Dst dan E Dst (> -50 nT) dan juga terlihat dengan jelas di KTB, DAV dan DAW. Disini juga dilakukan perbandingan dengan stasiun remote Davao (DAV) dan Darwin (Daw) untuk pembandingan komponen H. Pada gambar 11 sangat jelas terlihat terjadinya peningkatan harga komponen H_{KTB}/H_{DAV} dan H_{KTB}/H_{DAW} yang dimulai pada tanggal 12 Oktober sampai 18 oktober yang menunjukkan adanya gangguan magnet bumi dari eksternal kemudian anomali kembali terlihat terjadi pulsa pada tanggal 21 Oktober dan patah pada tanggal 25 Oktober, artinya disini anomali gangguan magnetik ULF terekam selama 5 hari untuk mencapai batuan tersebut patah (gempabumi). Arti fisisnya adalah pada tahap pertama yaitu tanggal 22 sedang terjadi *stress* batuan dan *strain* batuan yang terekam di stasiun magnet bumi.

Analisis Karakteristik Prekursor

Dari bentuk sinyal gangguan anomali magnet bumi yang berhubungan dengan gempabumi Padang 2009, anomali gangguan begitu jelas terlihat karena jarak gempabumi 141 km dari stasiun Kototabang. Untuk gempabumi Mentawai 2010 anomali sangat sulit terlihat di karena adanya gangguan badai magnetik dari aktivitas matahari selama beberapa hari sebelum gempabumi dan posisinya yang jauh dari stasiun magnet bumi berjarak 358 km dari stasiun Kototabang, dengan menggunakan stasiun referensi Davao dan Darwin dapat mudah terlihat bila menggunakan polarisasi ratio antara dua stasiun yaitu H_{KTB}/H_{DAV} dan H_{KTB}/H_{DAW}

Bentuk dari sinyal anomali gangguan magnetik untuk komponen Z/H adalah ketika terjadi perubahan anomali komponen Z/H menurun yang dalam arti fisisnya adalah terjadi *stress* batuan dan kemudian kembali naik yang artinya adalah terjadinya *strain* batuan yang kemudian patah. Semua bentuk pola gangguan sinyal anomali gangguan magnetik untuk gempabumi Padang 2009 dan gempabumi Mentawai 2010 memperlihatkan pola yang sama tetapi cuma beda lamanya anomali terjadi (anomali emisi ULF) dan besarnya saja, tergantung dari jarak gempabumi dan besaran energi yang di dihasilkan oleh gempabumi tersebut.

Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa adanya hubungan antara magnitudo gempabumi, jarak gempabumi terhadap waktu gangguan dimana untuk

kedua gempabumi tersebut yaitu gempabumi Padang menghasilkan waktu gangguan selama 23 hari yang terekam di stasiun magnet bumi dan gempabumi Mentawai hanya 5 hari gangguan yang terekam di stasiun magnet bumi.

4. Kesimpulan

Pola *power ratio* Z/H apabila terjadi anomali prekursor gempa di stasiun yang dekat dengan episenter terjadi penurunan anomali (*slope*) yang menunjukkan waktu lamanya emisi ULF, sebelum terjadi gempabumi yang tergantung dari besarnya magnitudo dan jarak dari pusat gempabumi. Stasiun referensi yaitu Davao (DAV) dan Darwin (DAW) digunakan untuk meyakinkan apakah anomali tersebut berasal dari gangguan eksternal atau dari perkursor gempa. Jika terjadi gangguan magnet bumi eksternal maka antara stasiun yang dekat dengan episenter dan stasiun referensi memiliki pola yang sama dan jika anomali tersebut berasal dari prekursor gempa maka hanya stasiun yang dekat dengan episenter saja yang memiliki pola anomali tersebut.

Polarisasi *power ratio* antara dua stasiun adalah sebagai pengontrol dari aktivitas litosfer didekat stasiun, dengan membandingkan stasiun yang terjauh dan stasiun terdekat dengan episenter [H_{KTB}/H_{DAV}] dan [H_{KTB}/H_{DAW}] diperoleh peningkatan anomali amplitud ratio sebelum terjadinya gempabumi. Jika magnitudo besar dan jarak episenter dekat maka anomali emisi ULF akan lebih lama bila dibandingkan dengan magnitudo sama tetapi jaraknya lebih jauh.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Kiyohumi Yumoto dari ICSWSE untuk data MAGDAS, BMKG yang telah menyediakan data gempabumi dan magnet bumi, LAPAN untuk data magnet bumi Kototabang dan ICSWSE (*International Center Space Weather Science and Education*) Kyushu University Jepang yang akan memasang 10 (sepuluh) Instrumen MAGDAS-9 guna penelitian prekursor gempabumi di Sumatera bekerjasama dengan BMKG, ICSWSE -Kyushu Univ., ITB dan LAPAN. Pada tahap-1 tahun 2012 dipasang 3 stasiun di Liwa, Bengkulu dan Sicincin.

Daftar Pustaka

- [1] Mc Caffrey, R. (2009). The tectonic framework of Sumatran subduction zone. *Annual Review Earth Planet Science*, 37, 346-366. doi:10.1146/annurev.earth.031208.100212
- [2] BMKG. (2012). *Katalog gempabumi*. Jakarta: BMKG. Retrieved from <http://repogempa.bmkg.go.id/>
- [3] Hattori, K., Serita, A., Yoshino, C., Hayakawa, M., & Isezaki, N. (2006). Singular spectral analysis and principle component for signal discrimination of ULF geomagnetic data associated with Izu Island earthquake swarm. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 31(4-9), 281-291.
- [4] Saroso, S., Hattori, K., Ishikawa, H., Ida, Y., Shirogane, R., Hayakawa, M., et al. (2009). ULF geomagnetic anomalous change possibly associated with 2004-2005 Sumatran Earthquakes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 343-349.
- [5] Thomas, J. N., Love, J. J., Johnston, & M. J. S. (2009). On the reported magnetic precursor of the 1989 Loma Prieta earthquake. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 137(3-4), 207-215.
- [6] Thomas, J. N., Jeffrey, J. L., Malcolm, J. S., & Yumoto, K. (2009). On the reported magnetic precursor of the 1993 Guam earthquake. *Geophysical Research Letters*, L16301, 1-5. doi:10.1029/2009GL039020
- [7] Yumoto, K., Ikemoto, S., Cardinal, M. G., Hayakawa, M., Hattori, K., Liu, J. Y., et al. (2009). A new ULF wave analysis for Seismo-electromagnetic using CPMN/MAGDAS data. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 360-366.
- [8] Uozumi, T., Yumoto, K., Kitamura, K., Abe, S., Kakinami, Y., Shinohara, M., et al. (2008). A new Index to monitor temporal and long-term variations of the equatorial electrojet by MAGDAS/CPMN real-time data: EE-Index. *Earth Planets Space*, 60, 785-790.
- [9] Index, Dst. (2012). WDC Kyoto University. (<http://wdc.kugi.kyoto.u.ac.jp/dstae/index.html>) di akses 9 April 2012
- [10] Index, E Dst. (2012). ICSWSE Kyushu University. (<http://www.serc.kyushu-u.ac.jp/ee/EDst/index.html>) di akses 7 April 2012