PREKURSOR GEMPA BUMI PADANG 2009 BERBASIS HASIL ANALISIS POLARISASI *POWER* RASIO DAN FUNGSI TRANSFER STASIUN TUNGGAL

(Earthquake Precursor for Padang 2009 Based on Polarization Power Ratio and Single StationTransferFunction)

Ahadi Suaidi¹,Puspito N.T², Saroso S.³, Ibrahim G.⁴, Siswoyo⁵ dan Suhariyadi⁶

 ^{1,5,6} Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, BMKG, Jl. Angkasa 1 No.2 Kemayoran Jakarta 10720
 ^{1,2,4} Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, ITB, Jl. Ganesa No.10 Bandung 40123
 ³Lembaga Penerbangan dan Antariksa, LAPAN, Jl. Djunjunan No. 133 Bandung 40173 E-mail: <u>suaidi.ahadi@bmkg.go.id</u>

Diterima (received): 15 Mei 2013; Direvisi (revised): 2 Juni 2013; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 12 Juni 2013

ABSTRAK

Gempa bumi Padang 2009 (Mw=7,6) adalah salah satu gempa bumi kuat di Sumatera setelah gempa bumi kuat Aceh 2004 dan Nias 2005. Gempa tersebut sangat menarik untuk diteliti karena memiliki magnitudo gempa (Mw = 7), dengan jarak hyposenter gempa bumi yaitu $R_{Padang} = 140 \text{ km}$ (< 200 km). Azimuth episenter stasiun geomagnet Kototabang (KTB) memiliki arah 205⁰ UT (Utara-Timur) terhadap posisi episenter. Analisis emisi ULF (Ultra Low Frequency, f < 0,1 Hz) yang terekam pada magnetogram, telah dilakukan dengan menganalisis spektrum frekuensi pada saat sebelum – saat kejadian (pre-seismic) guna mengetahui seberapa besar jangkauan frekuensi yang muncul akibat aktifitas seismogenik. Dalam penelitian ini metode polarisasi power rasio telah digunakan untuk mendapatkan waktu mula (onset time) untuk prekursor gempa. Selanjutnya, dengan Fungsi Transfer Stasiun Tunggal (Transfer Function Single Station) azimuth dari anomali konduktivitas akibat aktivitas seismogenik dapat diketahui. Hasilnya adalah ditemukan waktu mula (Onset Time) dan azimuth dari anomali konduktivitas dimana anomali emisi ULF diketahui selama 26 hari sebelum kejadian dengan arah azimuth dari perhitungan fungsi tranfer adalah 205⁰. Dengan demikian informasi anomali emisi ULF dengan menggunakan data geomagnet dapat menentukan prekursor gempa bumi dengan jangka pendek (short -time).

Kata Kunci: Gempa Sumatera, Emisi ULF, Prekursor Gempa Bumi, Jangka Pendek.

ABSTRACT

The 2009 Mw=7.6 Padang earthquake is among strong earthquakes in Sumatra after the Aceh 2004 and Nias 2005 strong earthquakes. Research on this earthquake is very interesting because it has a high magnitude (Mw=~ 7), with distance to hypocenter was R_{Padang} = 140 km or (< 200 km). Azimuth epicenter from Kototabang Geomagnetic Station (KTB) has directions to 205^o NE to the position of the epicenter. Analysis of Ultra Low Frequency (ULF) emissions (f < 0.1 Hz), that was recorded on the magnetogram, was analyzed by using the frequency spectrum at the time prior to the event (pre-seismic) to determine how large was the range of frequencies that arise from the seismogenic activity. Furthermore, by using polarization power ratio method, the first time (onset time) for earthquake precursors was obtained. The azimuth of anomalous conductivity due seismogenic activity can be known by using a Transfer Function Single Station. The result shows that the Onset Time and azimuth were found from which the conductivity anomaly known anomaly ULF emissions during the 26 days prior to the event with the azimuth direction of the transfer function calculation is 205^o. Thus the anomalous information of ULF emissions with geomagnetic data can be used to determine earthquake precursors in relatively short-time.

Keywords: Sumatra Earthquake, ULF emission, Earthquake Precursor, And Short Term.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Studi prekursor gempa bumi dengan menggunakan data geomagnet telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti, diantaranya adalah menggunakan data stasiun Kototabang KTB dan mengunakan stasiun Referensi Biak (BIK) untuk gempa bumi katastropik Aceh 2004 (Saroso S dkk., 2008). Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa yang masih menjadi masalah adalah bagaimana menentukan tanda (*signature*) dan bagaimana waktu mula (*onset time*) anomali prekursor gempa bumi yang berasosisi dengan emisi ULF ditentukan. Penelitian ini mencoba menjawab permasalahan tadi dengan menganalisis pola prekursor gempa bumi yang berasosiasi dengan emisi ULF ($f \le 0.1$ Hz) dengan melakukan investigasi gempa Padang 2009 yang terkait dengan anomali emisi ULF.

Emisi ULF (*Ultra LowFrequency*) adalah emisi magnetik pada spektrum frekuensi < 0.1 Hz yang disebabkan oleh sumber medan magnetik. Karena spektrum frekuensinya yang sangat kecil tentunya memiliki panjang gelombang yang panjang ($\lambda = km$). Dengan demikian, sumber dari emisi ini digunakan untuk menganalisis ganguan yang berjarak sangat jauh (R = 30 - 7000 km) misalnya aktivitas geomagnetik global (badai matahari) atau efek seismogenik.

Gambar 1 menunjukkan Gempa Padang 2009 dengan kekuatan Mw=7.6 dan pada kedalaman70 km(BMKG, 2012), memiliki jarak hyposenter 140 km dari stasiun Kototabang (KTB). Gempa bumi tersebut adalah salah satu dari gempa bumi kuat Sumatera yang menyebabkan banyaknya korban jiwa dan harta benda setelah gempa bumi Aceh 2004 (Mw = 9,2) dan Nias 2005 (Mw = 8,5). Gempa bumi tersebut menarik untuk diteliti karena memiliki jarak kurang dari 200 km dengan magnitudo besar (Mw = ~7) (Hattori dkk., 2006). Dengan parameter gempa bumi tersebut sangat baik untuk menemukan pola anomali emisi ULF akibat seismogenik.

Ibrahim, dkk., (2012) telah melaporkan analisis prekursor gempa bumi Padang 2009 dan Mentawai 2010 terhadap waktu lamanya anomaly emisi ULF yang dihasilkan. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa pada kejadian gempa Mentawai 2010 walaupun magnitudonya hampir sama dengan gempa Padang 2009 tetapi jaraknya lebih jauh, sehingga lama anomali emisi ULF terekam lebih singkat jika dibandingkan dengan gempa Padang 2009. Penelitian ini menggunakan analisis yang berbeda dari Ibrahim dkk., (2012) untuk metode pemilihan spektrum frekuensi yang digunakan. Penelitian ini menggunakan analisis polarisasi ratio untuk penentuan waktu mula (onset time) dan Fungsi Transfer Stasiun Tunggal (Transfer Function Single Station) untuk mengetahui arah dari anomali konduktivitas. untuk investigasi ulang terhadap gempa bumi tersebut.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan teknik untuk menentukan waktu mula (*onset time*) dan arah anomali konduktifitas dari aktivitas seismogenik gempa bumi Padang tahun 2009 yang berasosiasi dengan emisi ULF-EM. Hasil yang diharapkan dari investigasi kedua dari gempa bumi tersebut akan dapat diketahui kapan mulainya waktu mula (*onset time*) dan arah dari aktivitas sumber konduktivitas di litosfer.



Gambar 1. Episenter gempa bumi Padang2009. METODE

Selain parameter gempa bumi Padang 2009 (posisi episenter, hyposenter dan magnitudo) data yang digunakan adalah data geomagnet tahun 2009 yang terekam di stasiun Kototabang, Sumatera (0.202⁰LU-100.31⁰BT) dan sebagai stasiun referensi. menggunakan jaringan stasiun MAGDAS (Magnetic Data and Acquisition System) yaitu Davao (DAV) dengan posisi geografis pada 7.000 LU - 130.920 BT di Filipina dan Darwin (DAW) dengan posisi geografis pada 12.41° LS - 130.92° BT di Autralia. Tujuan penggunaan data referensi ini adalah sebagai untuk monitoring pembanding variasi medan geomagnet di lintang rendah (low latitude) dan dua stasiun referensi yang mewakili geomagnet di ekuator dan lintang rendah yaitu Davao (DAV, Filipina) dan Darwin (DAW, Australia), yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Stasiun geomagnet Kototabang.

Karakelian, *dkk.*, (2000) telah melakukan penelitian terhadap spektrum frekuensi yang berkaitan dengan aktivitas seismogenik dengan membagi pada saat sebelum gempa bumi (*pre-seismic*, *f*= 0.1 – 0.02 Hz), saat bersamaan dengan aktivitas mikro seismik (*Microseismic peak*, *f*=0.2 - 0.1 Hz) dan saat gempa bumi (*co-seismic*, *f*=0.5 – 5 Hz). Karena penelitian ini menganalisis aktivitas *preseismic* maka dipilihlah spektrum frekuensi f = 0.1 – 0.02 Hz. Pemilihan waktu saat malam hari waktu setempat (*Nigthtime* 23:00 – 04:00) dipilih untuk meningkatkan kualitas hasil sinyal dalam menentukan waktu onset(*onset time*) karena pada waktu tersebut gangguan lokal emisi ULF sangat kecil walaupun stasiun geomagnet yang digunakan

adalah pada daerah yang *remote* artinya daerah yang memiliki gangguan elektromagnetik kecil. Metode polarisasi rasio sZ/zH digunakan untuk menentukan waktu mula (*onset time*) yang dibandingkan terhadap stasiun referensi DAV dan DAW.

Analisis sinyal menggunakan domain frekuensi, karena sampling rate dari Instrument 1 Hz maka sampling rate (v) dari instrument yang disebut frekuensi Nyquist yaitu : $f_{Myquist} = \frac{1}{2}$ y. Dengan demikian, frekuensi yang digunakan adalah f <0.5 Hz. Untuk analisis spektral digunakan *Power Spectral Density* (PSD) dengan metode *Welch* yang membagi panjang sinyal (N data) ke dalam beberapa segment yang overlaping 50% pada setiap segment. Pada setiap segment dilakukan FFT atau disebut nFFT yang menggunakan tipe jendela cuplik (*window*) dengan tipe *Hamming* dengan panjang jendela L = N + 1 dengan rumus pada **Persamaan 1.**

 $w(n) = 0.54 - 0.46\cos(2\pi_N^n)$, $0 \le n \le N$(1)

dimana :

w(n) = tipe jendela cuplik (window)

Hasil dari nilai spektral analisis yang dilakukan pada setiap komponen H dan Z kemudian dilakukan polarisasi power ratio Z/H dan diff H_{sta}/H_{ref} atau Z_{sta}/Z_{ref} untuk beda stasiun dan *power ratio* H/H rataan tahunannya selama periode tertentu misalnya untuk 1 (satu) bulan atau 2 (dua) bulan. Yumoto, dkk., (2008) mengenalkan metode untuk melakukan studi prekursor gempa bumi yaitu dengan polarisasi dan komparasi sinyal untuk komponen H dan Z. Analisis polarisasi rasio menggunakan analisis spektral pada spektrum ULF (f < 0.5 Hz). Metode tersebut menggunakan stasiun referensi sebagai pembanding kualitatif untuk ULF memisahkan emisi dari solar wind. magnetosphere, ionosphere atau lithosphere dan yang berasal dari seismogenic (litosfer). Metode polarisasi juga digunakan Ida dkk., (2008) rasio vang polarisasi memperbaiki analisis rasio untuk menambah keyakinan adanya emisi ULF (f= 0.01 Hz) frekuensi ini dipilih dari hasil penelitian Hayakawa dkk., (2007) yang berkaitan dengan efek dari seismogenik dengan menambahkan analisis statistik menggunakan standarisasi dengan rumus pada Persamaan 2.Data yang digunakan adalah data pada saat nigthtime yaitudi jam 18:00 - 21:00 waktu setempat.

 $E_i = (X_i - \mu_i) / \sigma_i \tag{2}$

dimana :

X_i= rataan untuk 1 hari komponen masing masing i= komponen H,D dan Z

 μ_i = rataan komponen dalam 1 periode waktu tertentu σ_i = standar deviasi

Metode ini telah diterapkan pada gempa bumi di dekat stasiun Kashi, China periode 2003-2006. Kemudian Masci,*dkk.*, (2009) menggunakan metode ini untuk gempa bumi di sekitar L'Aquila (AQU) selama periode 2006 - 2009 dengan data yang digunakan

adalah pada saat *nigthtime* (00:00 – 04:00 waktu setempat) untuk mengurangi efek *artificial noise*. Frekuensi yang digunakan adalah pada frekuensi 0.01 Hz. Penelitian ini kemudian diperbaiki oleh Prattes,*dkk*., (2011) untuk menambah keyakinan anomali emisi prekursor dari nilai standarisasi atau normalisasi selama periode 1 tahun.

Prattes, dkk., (2011)memperbaiki model perhitungan dari Ida, dkk., (2008)dan yaitu Masci,*dkk*.,(2009) dengan menganalisis standarisasi dan normalisasi harian dengan rumus Persamaan 3.Kemudian seperti pada untuk mendapatkan analisis statistik yang lebih baik digunakan rataan harian seperti pada Persamaan 4.Dengan demikian, nilai harian komponen H dan Z yang diperoleh adalah hasil seperti pada Persamaan 5.Penghitungan polarisasi rasio dilakukan dengan menggunakan Persamaan 6.

$$S_{HDay}(\omega) = \frac{[B_{H}(\omega)^{2}]}{2\pi M} = \frac{[B_{H}(\omega)^{2}]}{2\pi M}$$

$$S_{ZDay}(\omega) = \frac{[B_{Z}(\omega)^{2}]}{2\pi M} = \frac{[B_{Z}(\omega)^{2}]}{2\pi M}$$

$$S_{\Sigma HDay}(\omega) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum [S_{HDay}(\omega)]^{2}}$$

$$S_{\Sigma HDay} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum [S_{HDay}(\omega)]^{2}}$$

$$M_{Day} = \frac{S_{\Sigma HDay} - \mu_{\Sigma M} Month}{S_{\Sigma ZDay} - \mu_{\Sigma ZMonth}}$$

$$S_{Day} = \frac{S_{\Sigma ZDay} - \mu_{\Sigma ZMonth}}{\sigma_{\Sigma ZMonth}}$$

$$M_{Day} = \frac{S_{\Sigma ZDay} - \mu_{\Sigma ZMonth}}{\sigma_{\Sigma ZMonth}}$$

$$M_{Day} = \frac{S_{\Sigma ZDay} - \mu_{\Sigma M} M}{\sigma_{\Sigma ZMonth}}$$

$$M_{Day} = \frac{S_{\Sigma ZDay} - \mu_{\Sigma M} M}{\sigma_{\Sigma ZMonth}}$$

$$M_{Day} = \frac{S_{Day} - \mu_{\Sigma M} M}{M}$$

Analisis polarisasi rasio yang dilakukan Prattes, dkk., (2011) adalah untuk meyakinkan kualitas nilai variasi harian dari data geomagnet. Dengan demikian nilai variasi dari setiap komponen yang dianalisis (Z dan H) dapat dikontrol apakah emisi tersebut memang berasal dari aktifitas geomagnet atau dari gangguan instrumen. Masalahnya polarisasi power rasio muncul ketika nilai power yang dihasilkan sangat kecil (*Power*, p < 0.1) sehingga timbul masalah ketika dibuat rasio yang menghasilkan rasio yang sangat besar. Oleh karena itu, untuk memperbaiki analisis polarisasi rasio yang telah ada, penelitian ini mencoba dengan mengabsolutkan setiap nilai yang ada kemudian ditambahkan dengan angka 1. Dari persamaan Prattes dkk., (2011) pada Persamaan 5, persamaan maka kami membuat baru yaituPersamaan 7.

$$H_{Day} = \frac{S_{\Sigma H Day} - \mu_{\Sigma H Menth}}{\sigma_{\Sigma H Menth}} + 1$$

$$Z_{Day} = \frac{S_{\Sigma Z Day} - \mu_{\Sigma Z Menth}}{\sigma_{\Sigma Z Menth}} + 1$$
(7)

Hasil dari nilai spektral analisis yang dilakukan pada setiap komponen H dan Z kemudian dilakukan

polarisasi *power ratio* Z/H dan diff Hsta/Href atau Zsta/Zref untuk beda stasiun dan *power ratio* H/H rataan tahunannya selama periode tertentu misalnya untuk 1 (satu) bulan atau 2 (dua) bulan.

Saroso, dkk., (2008) telah menganalisis data geomagnet di Kototabang, KTB Sumatera dengan kontrol stasiun pembandingnya adalah Biak(BIK) Papua untuk gempa bumi kuat Sumatera periode 2004 - 2005. Metode yang digunakan adalah power ratio sZ/sY pada periode 32 detik (f = 0.032 Hz) dan menunjukkan peningkatan anomali emisi ULF sebelum gempa bumi. Untuk lebih menyakinkan sinyal gangguan geomagnet yang berasal dari litosfer maka digunakan 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 Anomaly).

 $\Delta Z(\omega) = A(\omega) \cdot \Delta X(\omega) + B(\omega) \cdot \Delta Y(\omega)$ (8)
dalam persamaan matrik:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \mathbf{1}_{X_{T}X_{i}} & \Delta Y \mathbf{1}_{Y_{T}Y_{i}} \\ \Delta X \mathbf{n}_{X_{T}X_{i}} & \Delta Y \mathbf{1}_{Y_{T}Y_{i}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{A_{T}A_{i}} \\ B_{B_{T}}B_{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbb{Z} \mathbf{1}_{Z_{T}Z_{i}} \\ \mathbb{Z} \mathbf{n}_{Z_{T}Z_{i}} \end{bmatrix}$$
(9)

kemudian disederhanakan menjadi:

$[G][m] = [\delta]$	(10)
Inversi	
$G.m = \delta$	(11)
$m = \begin{bmatrix} G^T & G \end{bmatrix}^{-1} G^T \cdot \delta$	(12)
$Amp(\omega) = \sqrt{Ar(\omega)^2 + Br(\omega)^2}$	(13)
$D_{im} = constant \left(\frac{\partial r(\omega)}{\partial r} \right)$	(14)

$$Dtr = \arctan\left(\frac{1}{4r(\omega)}\right)$$
(14)
• Amo = skala konduktivitas (iarak antara meda

- Amp = skala konduktivitas (jarak antara medan konduktivitas)
- Dir = arah arus dari bawah stasiun (arah medan konduktivitas)
- Θ deg (derajat) = sudut dari arah selatan 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 selatan $(\theta=S=0^0)$ searah dengan jarum jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks geomagnet Dst (*Day storm time*) (WDC Kyoto Univ., 2013) telah digunakan untuk monitoring aktivitas geomagnet global yang terekam pada ekuator dan lintang rendah. Berikut ini adalah indeks Dst periode 2009 yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Cerrato dkk., (2004)membagi aktivitas badai geomagnet menjadi 3 bagian yaitu *Massive Storm*<-300 nT, *Storm*<- 50 nT , *severe storm* <-30 nT. Pada gambar 3 menunjukkan bahwa gempa bumi Padang 2009 (Mw= 7,6) sebelum (*pre-seismic*) dan sesaat (*coseismic*) kejadian terjadi pada saat hari tenang (*quiet day*, Dst > -50 nT). Dengan demikian, sinyal emisi ULF dapat dianalisis dengan baik karena tidak terjadi aktivitas badai geomagnet global sehingga dapat diketahui seberapa besar nilai frekuensi yang dihasilkan dari aktivitas efek seismogenik dan aktivitas geomagnet global.

Tentunya untuk mengetahui aktivitas gangguan emisi ULF harus diketahui dahulu respon frekuesi ketika terjadi badai magnetik bumi global (*disturbance day*) dan saat hari tenang (*quiet day*). **Gambar 4** menunjukkan respon frekuensi pada saat badai magnetik dengan indeks Dst = -78 nT.

Gambar 4 menunjukkan sinyal pada komponen H dan Z. Panel A menunjukkan indeks Dst pada bulan Juli 2009 dan Panel B spektogram pada komponen H menunjukkan intensitas frekuensi meningkat jika dibandingkan dengan komponen Z yang menandakan bahwa komponen H adalah komponen yang memiliki respon yang positif terhadap aktivitas geomagnet globaldan nampak intensitas respon frekuensinya lebih dominan (garis kurva tertutup) terhadap komponen Z. Respon frekuensi yang muncul pada saat aktivitas geomagnet global terekam di spektrogram komponen H berkisar antara 0.01 – 0.05 Hz.

Gambar 5 menunjukkan respon frekuensi ketika hari tenang (*quiet day*) dan yang dipilih disini adalah tanggal 15 Agustus 2009. Panel A adalah Indeks Dst bulan Agustus 2009 yang menunjukkan hari tenang.Panel B adalah sinyal Komponen H dan Z yang dilihat dengan *diff* dan spektrogram.Panel B untuk spektrogram pada setiap komponen memiliki respon frekuensi yang tidak dominan diantara keduanya (Komponen H dan Z). Dengan demikian respon frekuensi ketika hari tenang pada kedua komponen H dan Z memiliki intensitas respos frekuensi yang hampir sama.



Gambar 3. Indeks Dst (Day storm time) periode 2009 (garis hitam) dan gempa bumi Padang 2009 (garis hitam vertikal) dan batas indeks badai magnetik (garis hitam putus).



Gambar 4. Respon frekuensi saat terjadi ganguan geomagnet Global (Disturbance Day) tanggal 22 Juli 2009.



Gambar 5. Respon frekuensi pada saat hari tenang (quiet day) tanggal 15 agustus 2009.

Kemudian untuk melihat saat terjadi anomali emisi ULF yang dicurigai menghasilkan anomali emisi ULF akibat aktivitas seismogenik dapat dilihat pada

Gambar 6. Gambar inimemperlihatkan bahwa Panel A adalah indeks Dst bulan September 2009pada saat quite day. Panel B dan Panel C adalah sinval Komponen H dan Z yang dilihat dengan diff dan spektrogram.

Panel B menunjukkan sinyal untuk tanggal 6 terlihat September 2009 disini dengan baik peningkatan intensitas spektrum frekuensi di komponen Z yang ditunjukkan dengan peningkatan warna kuning yang diyakini sebagai aktivitas anomali emisi ULF dari seismogenik pre-seismic dan pada Panel C di komponen Z juga terjadi peningkatan intensitas respon frekuensi saat terjadi kejadian gempa bumi Padang pada30 September 2009 (co-seismic).

Komponen Z adalah komponen vertikal dalam instrumen Magnetograph yang dapat merespon dengan baik aktifitas seismogenik, begitu juga sebaliknya pada komponen H (Horizontal) dapat merespon dengan baik aktivitas geomagnet global. Peningkatan intensitas respon frekuensi yang terekam pada sinyal di atas saat pre-seismic dan co-seismic menunjukkan nilai spektrum yang hampir sama dan memiliki karakteritik tersendiri. Nilai spektrum yang dihasilkan adalah 0.02-0.05 Hz. Dengan demikian maka nilai spektrum frekuensi yang dipilih disini adalah 0.02 - 0.03 Hz yang selanjutnya di analisis untuk polarisasi power rasio guna menentukan onset time.

Hasil dari analisis tersebut ditunjukkan pada Gambar 7 untuk studi kasus gempa bumi Padang 30 September 2009. Pada gambar tersebut, Panel A mulai dari atas adalah Indeks Dst (Panel A1) menunjukkan adanya aktifitas gangguan eksternal geomagnet (Dst < -30 nT) yaitu pada tanggal 30 Agustus 2009 yang terdeteksi dengan baik polarisasi power rasio sZ/sH (garis biru) dan batas standar deviasi (garis abu-abu) pada setiap stasiun baik Kototabang (panel A2) maupunkedua stasiun referensi Davao (panel A3) dan Darwin (panel A4). Pada panel kanan terlihat pola yang sama yaitu menunjukkan peningkatan pada setiap komponen yaitu Z/H, H dan Z di setiap stasiun dengan ditandai dari melewati dari garis batas atas dan bawah dari moving average standar deviasinya ($\sigma \pm 1$).

Namun setelah gangguan geomagnet berakhir (quiet day, Dst > -30 nT) maka anomali emisi ULF nampak kembali yang ditandai dengan melewati garis moving average dari standar deviasinya maka pada tanggal 6 September 2009 mulai terlihat anomali dari emisi ULF yang kemudian dijadikan sebagai *onset time*.

Anomali emisi bersifat spontan dengan durasi 1 – 4 hari secara instens sampai pada saat kejadian gempa bumi. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui bahwa lamanya anomali emisi ULF yang terekam dari aktivitas seismogenik (*pre-seismic – co-seismic*) untuk gempa bumi Padang 2009 terekam selama 26 hari.

Sedangkan pada panel B adalah standarisasi dengan rataan tahunannya pada panel B2 polarisasi Z/H (pZ/H) aktivitas geomanetik global terlihat dengan baik yang ditandai dengan meningkatnya nilai power terhadap ketiga stasiun. Kemudian pada panel B3 adalah standarisasi dari setiap komponen H untuk masing masing stasiun (KTB,DAV dan DAW) dalam gambar terlihat hanya stasiun KTB (garis merah) terjadi perbedaan pola sinyal yang diawali pada saat tanggal 6 September 2009 (*pre-seimic*) sampai pada kejadian30 September 2009 (*co-seismic*). Begitu pula dengan Panel B4 yang merupakan standarisasi dari komponen Z yang menjukkan pola sinyal yang sama terhadap panel B3.



Gambar 6. Menunjukkan sinyal respon frekuensi pada saat pre-seismic dan co-seismic.



Gambar 7. Anomali Emisi ULF yang berkaitan dengan aktifitas seismogenik gempa bumi Padang.

Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui bahwa anomali emisi ULF yang berasosiasi dengan aktivitas seismogenik dapat diketahui dengan metode polarisasi power rasio sZ/sH dengan dibatasi oleh moving average dari standar deviasi ($\sigma \pm 1$). Penentuan waktu mula (onset time) dapat ditentukan apabila rasio zZ/sH melewati batas dari standar deviasinya sehingga dapat ditentukan sebagai anomali emisi ULF, dan awal penentuan anomali emisi tersebut dinyatakan sebagai onset time.

Kemudian untuk lebih meyakinkan penentuan onset dibuatlah diff, yaitu analisis statistik perbandingan Stasiun H_{KTB} /H_{DAV} dan H_{KTB} / H_{DAW} yang dibandingkan dengan H_{DAV}/H_{DAW} begitu juga untuk komponen Z. yang menunjukkan rasio dari Stasiun KTB terhadap stasiun referensinya yaitu DAV dan DAW ditunjukkan pada Gambar 8 yaitu untuk melihat pola dari anomali emisi ULF dengan rasio diff. Gambar ini menunjukkan (garis tebal) sebagai stasiun bahwa H_{DAV}/H_{DAW} referensi menunjukkan pola lebih tenang jika dibandingkan dengan H_{KTB} /H_{DAV} dan H_{KTB} / H_{DAW} yang lebih terlihat atraktif (garis tipis). Dengan demikian maka dapat ditentukan dimana onset time tujuannya adalah untuk lebih menyakinkan waktu dimulainya emisi ULF.

Onset time dari anomali emisi ULF prekursor gempa bumi Padang 2009 telah berhasil ditentukan yaitu sekitar 26 hari sebelum kejadian. Dengan penentuan waktu mula (onset time) maka dapat dianalisis fungsi transfer untuk menentukan azimut dari anomali konduktifitas. Lamanya waktu anomali emisi ULF (26 hari) dijadikan untuk menganalisis fungsi transfer. Hasil perhitungan azimut dari fungsi transfer stasiun tunggal dapat menentukan dengan baik arah datangnnya anomali Konduktifitas.

Setelah diketahui Gempa bumi Padang 30 September 2009 berjarak 140 km dari KTB juga dianalisis, selain menggunakan metode polarisasi rasio juga menggunakan fungsi transfer stasiun tunggal. Tujuannya adalah untuk menentukan arah konduktifitas dari stasiun KTB. Hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 9 yang mengambarkan arah dari konduktifitas yang mungkin berasosiasi dengan gempa bumi Padang. Arah konduktitasyang dihitung dari persamaan fungsi transfer stasiun tunggal dimana Gempa bumi Padang menunjukan arah Selatan -Barat Daya (S-SW), azimut KTB terhadap episenter gempa bumi adalah 205.9° dan dari perhitungan konduktifitas berkisar antara (Dir = 180° - 215°)



Gambar 8. Diff untuk masing masing Komponen.





Gambar 9. Arah konduktitas.

Azimut dari episenter gempa bumi ke stasiun KTB adalah 205.89 UT (Utara- Timur) dari hasil perhitungan diketahui jangkauan azimut yang dihitung dari stasiun KTB terhadap Episenter adalah adalah 205.9[°]atau $180^{\circ} - 215^{\circ}$ jadi hasil perhitungan fungsi transfer sangat sesuai dengan hasil perhitungan arah azimut dari Stasiun KTB ke episenter.

KESIMPULAN

Penentuan waktu mula (onset time) ditentukan dengan mengetahui terlebih dahulu spektrum frekuensi yang diyakini berasal dari aktifitas seismogenik. Kedua metode yang telah dibahas dalam penelitian ini dapat menentukan waktu mula (onset time) dan arah dari anomali kondutivitas sehingga penentuan prekursor gempa bumi sudah dapat diketahui kapan mulai terjadinya potensi gempa bumi kuat dan arah dari sumber aktivitas seismogenik. Dengan demikian hasil dari penelitian ini dapat dikembangkan untuk pembangunan sistem peringatan dini prekursor gempa bumi berbasis jaringan stasiun geomagnet. Untuk itu perlu penelitian yang lebih lanjut dengan menambah stasiun geomagnet di Sumatera dan menggunakan jaringan stasiun magnetomer tersebut agar hasilnya dapat lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih Kepada Prof. Dr. Yumoto dari ICSWSE (Internastional Center Space Weather Science and Education) Universitas Kyushu Jepang untuk mengunakan Data MAGDAS (JSPS Core to Core Program, B.Asia Africa Science Platforms). Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada BMKG dan LAPAN untuk data parameter gempa bumi dan data geomagnet stasiun Kototabang.

DAFTAR PUSTAKA

BMKG. (2009). Gempa dirasakan.

- http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Geofisika/Gempa_Diras akan.bmkg.[Diakses 2 April 2012].
- Cerrato, Y., E. Saiz, C. Cid andM.A. Hidalgo. (2004) Geomagnetic Storms: Their sources and a model to forecast the Dst Index. *Lecture Notes and Essays in Astrophysics*.Vol.1, 165-176.
- Hattori, K.(2004). ULF Geomagnetic Changes Associated with Large Earthquake. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences (TAO).* Vol.15. No.3,329-360.

- Hattori,K., A.Serita, C. Yoshino, M. Hayakawaand N. Isezaki. (2006). Singular Spectral analysis and principal component analysis for signal discrimination of ULF geomagnetic data associated with 2000 Izu Island Earthquake Swarm. *Physics dan Chemistry of the Earth.* 31, 281-291.
- Hayakawa, M., K. Hattori dan K. Ohta. (2007). Monitoring of ULF (*Ultra Low Frequency*) Geomagnetic Variation Associated with Earthquakes. *Senssors.* ISSN 1424-8220.,7,1108-1122.
- Ibrahim, G., S. Ahadi dan S. Saroso.(2012). Karakteristik Sinyal Emisi ULF yang Berhubungan dengan Prekursor Gempa bumi di Sumatera, Studi Kasus: Gempa bumi Padang 2009 dan Gempa bumi Mentawai 2010. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol 13. No.2.81-89
- Karakelian, D., S.L. Klemperer, A.C. Fraser-smith dan G.C.Beroza. (2000). A Transportable system for Monitoring Ultra Low Frequency electromagnetic signal associated with earthquakes. *Seismologica Researchetter*. Vol 71, No.4, 432-436. DOI:10.1785/gssrl.71.4.423
- Ida Y., D. Yang, Q. Li., H. Sun dan M. Hayakawa. (2008).Detection of ULF electromagnetic emissions as a precursor to an earthquake in China with an improved polarization analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences.* DOI: 10.5194/nhess-8-775-2008
- Masci F., P. Palagio, dan M. Di Persio.(2009). Magnetic anomalies possibly linked to local low seismicity. *Natural Hazards and Earth System Sciences 9,1567-1572.* doi:10.5194/nhess-9-1567-2009
- Prattes G., K. Schwingenschuh, H.U. Eichelberger, W. Magnes, M. Boudjada, M. Stachel, M. Vellante, U. Villante, V. Wesztergom and P. Nenovski.(2011). Ultra Low Frequency (ULF) European multi stastion magnetic field analysis before and during the 2009 earthqauke at L'Aquila regarding regional geotechnical information. *Natural Hazards Earth System Sciences*. 11,1959-1968. DOI:10.5194/nhess-11-1959-2011
- Saroso S., K. Hattori, H. Ishikawa, Y. Ida, R. Shirogane, M. Hayakawa, K. Yumoto, K. Shiokawa, dan M. Nishihashi. (2008). ULF geomagnetic anomalous changes possibly associated with 2004-2005 Sumatra earthquake. *Phys. Chem. Earth.* 34. 343-349, doi:10.1016/j.pce.2008.10.065
- WDC, World Data Center for Geomagnetic: <u>http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aeasy/index.html</u>.[Diakses 12 Mei 2013].
- Yumoto, K., S. Ikemoto, M.G. Cardinal, H. Hayakawa,K. Hattori, J.Y. Liu, S. Saroso, M. Ruhimat, M. Husni, D.S. Widarto, E. Ramos, D. McNamara, R.E. Otadoy, G. Yumul, R. Ebora and N. Servando. (2008). A new ULF wave analysis for Seismo-Electromagnetics using CPMN/MAGDAS data. Phys.Chem.Earth,PartsA/B/C,360-

366,doi:10.1016/j.pce.2008.04.05.