

Analisis Anomali Sinyal Geomagnetik Menggunakan Metode *Detrended Fluctuation Analysis* pada Gempa Bumi Magnitudo 6,1 di Lebak, Banten

Lina Fazriyanti¹†, Arif Tjahjono¹, Febty Febriani²

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan Ir. H. Djuanda No.95, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten, 15412, Indonesia

²Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jalan Raya Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten.

†01novemberlina@gmail.com

Abstrak.

Secara geografis Pulau Jawa berhadapan langsung dengan zona tumbukan lempeng Eurasia dan Indo-Australia yang menyebabkan wilayah tersebut rawan terjadinya gempa bumi, salah satunya gempa tersebut yaitu di Lebak, Banten dengan magnitudo 6,1. Maka diperlukan usaha untuk meminimalisir resiko gempa bumi, seperti pengamatan prediksi jangka pendek melalui fenomena medan magnetik bumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis apakah terdapat anomali sinyal *geomagnetic Ultra Low Frequency* (ULF) sebelum gempa bumi terjadi. Penelitian ini menggunakan data geomagnetik periode Januari hingga Februari 2018 di Lebak, Banten dengan metode yang digunakan adalah *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA). Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini merupakan penelitian lanjutan berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan dengan metode *spectral density ratio*. Berdasarkan pengolahan data diperoleh nilai α pada masing-masing komponen, untuk komponen H memperoleh nilai $\alpha = 1.99$, komponen D dan Z memperoleh nilai $\alpha = 1.2$ hingga 1.6. Berdasarkan analisis dari ketiga komponen tersebut, menunjukkan terjadinya penurunan nilai α yang disajikan oleh panel komponen D dan Z. Pada saat yang sama, hasil *spectral density ratio* mengalami kenaikan nilai rasio Z/D. Nilai dari indeks DST (*Disturbance Storm Time*) menunjukkan tidak terjadi aktivitas badai geomagnet global sebelum dan sesaat terjadinya gempa bumi M = 6,1. Dengan hasil yang diperoleh ini menunjukkan terdapat adanya kemunculan anomali sinyal geomagnetik *Ultra Low Frequency* (ULF) pada 7 dan 11 hari sebelum gempa bumi bermagnitudo 6,1.

Kata Kunci: *Detrended Fluctuation Analysis (DFA), gempa bumi, indeks DST, magnetik bumi, Ultra Low Frequency (ULF).*

Abstract.

Geographically, Java Island is dealing directly with the Eurasian and Indo-Australian plate collision zones which cause the area to be prone to earthquakes, one of which is the earthquake in Lebak, Banten with a magnitude of 6.1. So efforts are needed to minimize the risk of earthquakes, such as observing short-term predictions through the phenomenon of the earth's magnetic field. The purpose of this study is to analyze whether there is an anomaly of ultra low frequency (ULF) geomagnetic signals before an earthquake occurs. This research uses geomagnetic data from January to February 2018 in Lebak, Banten with the method used is detrended fluctuation analysis (DFA). Observations made in this study are advanced studies based on previous research conducted with the spectral density ratio method. Based on data processing, the value of α is obtained for each component, for component H obtains the value $\alpha = 1.99$, components D and Z get the value $\alpha = 1.2$ to 1.6. Based on the analysis of the three components, it shows a decrease in the value of α presented by panel components D and Z. At the same time, the spectral density ratio results in an increase in the value of the Z / D ratio. The value of the DST (Disturbance Storm Time) index indicates that there was no global geomagnetic storm activity before and during the earthquake M = 6.1. The results obtained indicate that there is an anomaly of ultra low frequency (ULF) geomagnetic signal anomaly 7 and 11 days before the magnitude 6.1 earthquake.

Keywords: *Detrended Fluctuation Analysis (DFA), DST index, earthquakes, earth magnetic, Ultra Low Frequency(ULF).*

DOI : [10.15408/fiziya.vi1.15091](https://doi.org/10.15408/fiziya.vi1.15091)

PENDAHULUAN

Berdasarkan penelitian geologi kebencanaan, diperkirakan Provinsi Banten merupakan salah satu provinsi yang akan mengalami dampak kerusakan cukup besar apabila terjadi bencana alam terutama gempa bumi (Ganesha, 2011). Secara geografis Provinsi Banten terletak di bagian barat Pulau Jawa. Secara geologi dan seismologi, terdapat zona subduksi Sumatera dan Jawa yang mana zona tersebut merupakan sumber yang memiliki potensi gempa bumi aktif dan kontribusi seismik signifikan terhadap wilayah tersebut (Delfebriyadi, 2008). Salah satu gempa dengan intensitas kuat di Pulau Jawa adalah gempa Lebak, Banten yang terjadi pada 23 Januari 2018 tepat pada pukul 13:34:53 WIB. Hasil analisis Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa gempa bumi berkekuatan $M = 6,1$ terjadi dengan koordinat episenter $-7,13^{\circ}$ S dan $106,04^{\circ}$ E pada kedalaman 46 km (BMKG, 2018). Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana, gempa ini menyebabkan kerusakan bangunan pada 3 provinsi (Jawa Barat, Banten, DKI Jakarta), 9 kabupaten/kota dan 73 kecamatan. Total keseluruhan terdapat 8.467 unit rumah rusak dengan rincian 1.071 rusak berat, 2.271 rusak sedang, dan 5.125 rusak ringan. Kerusakan rumah paling banyak terjadi di Kabupaten Lebak dan Kabupaten Sukabumi (BNPB, 2018).

Untuk mengurangi berbagai macam dampak tersebut maka solusinya yaitu memprediksi jangka pendek dengan pengamatan kemunculan tanda awal (prekursor) gempa bumi melalui berbagai parameter seperti parameter geofisika, geo-atmosferik, geokimia, geodesi dan beberapa integrasi parameter lainnya (Pakpahan et al., 2014). Salah satu parameter geofisika yaitu geomagnetik dengan sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*). Penggunaan sinyal ULF (*Ultra Low Frequency*) < 1 Hz dipercaya mampu memantau hingga kedalaman di mana aktivitas kerak bumi tersebut berlangsung sebagai prekursor gempa bumi. Hal ini dikarenakan ULF memiliki panjang gelombang yang lebih panjang sehingga mudah terdeteksi ke permukaan (Masruri et al., 2017). Penelitian prekursor gempa bumi dengan geomagnetik spektrum *Ultra Low Frequency* (ULF) menggunakan metode *detrended fluctuation analysis* (DFA), merupakan penelitian lanjutan berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Arianto Saipul Hak (2018) dengan metode *spectral density ratio*. Penelitian dengan metode DFA ini dapat mengkonfirmasi kebenaran dari hasil yang diperoleh oleh metode *spectral density ratio* yang berfokus pada ULF.

Dalam menentukan prekursor gempa bumi dengan metode DFA telah dilakukan oleh Febriani et al., (2014) pada gempa bumi Pulau Jawa tahun 2009 dengan $M = 7.5$ yang berjarak 135 km dari stasiun Pelabuhan Ratu (PLR). Dimana hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan nilai α . Pada saat yang sama, hasil *spectral density ratio* dengan rentang frekuensi $0,01 \pm 0,003$ Hz mengalami peningkatan nilai rasio. Dengan adanya perubahan secara simultan ini maka dapat terkonfirmasi adanya anomali yang muncul beberapa minggu sebelum gempa $M = 7.5$. Berkaitan dengan penelitian tersebut, maka penelitian yang dilakukan terhadap geomagnetik sinyal ULF pada gempa bumi yang terjadi pada tanggal 23 Januari 2018 di Lebak, Banten dengan magnitudo 6,1 menggunakan metode DFA diharapkan menghasilkan informasi pendukung sebagai salah satu tanda awal terjadinya gempa bumi.

Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi dari dalam bumi yang disebabkan oleh terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Besarnya kekuatan gempa bumi beragam dimulai dari yang sangat kecil hingga sulit dirasakan sampai dengan yang dahsyat (Noor, 2006). Teori yang berkaitan dengan kejadian gempa bumi yaitu teori kekenyalan elastis (*Elastic Rebound Theory*). Teori ini menjelaskan ketika permukaan bidang sesar saling bergesekan satu sama lainnya, maka batuan akan mengalami proses deformasi (perubahan wujud) jika perubahan tersebut melampaui batas maksimum elastisitasnya atau regangannya maka batuan akan patah (*repture*) atau akan kembali ke bentuk asalnya (*rebound*). Pada patahan tersebut diikuti oleh pelepasan energi elastis secara tiba-tiba ini menghasilkan kejadian gempa bumi (Sapiie et al., 2006).

Prekursor Gempa Bumi Berdasarkan Geomagnetik

Pemantau mengenai mekanisme kegempaan yang muncul sebelum gempa bumi terjadi (*precursor*) sangat diperlukan dalam langkah awal prediksi gempa bumi. Pemantauan gejala atau tanda awal kejadian gempa bumi antara lain dapat dilakukan dengan melihat perubahan medan magnet sebelum terjadinya gempa. Dalam memprediksi gempa bumi melalui metode geomagnetik di gunakan suatu alat yang disebut dengan sensor geomagnetik. Sensor ini merekam berbagai sinyal termasuk sinyal yang normal cenderung stabil maupun sinyal yang tidak normal terdapat adanya anomali. Anomali ini yang digunakan dalam memprediksi dan mengetahui fenomena yang terjadi di permukaan bumi maupun di dalam bumi seperti halnya gempa bumi.

Adanya anomali disebabkan oleh *stress* pada batuan yang terjadi secara terus menerus sehingga menyebabkan batuan tersebut patah. Patahan ini yang mengakibatkan material-material yang dimiliki batuan mengalami perubahan nilai kemagnetannya sehingga menimbulkan adanya anomali magnetik (Sari, 2019). Anomali pada emisi ULF merupakan dasar paling penting dalam menentukan prekursor jangka pendek sebelum terjadinya gempa, hal ini dikarenakan gelombang frekuensi sangat rendah dapat menjalar ke permukaan dengan mudah dan terekam magnetometer (Ida et al., 2008).

Detrended Fluctuation Analysis (DFA)

DFA adalah metode untuk menentukan perilaku penskalaan data (Febriani et al., 2014). DFA berfungsi untuk menghindari kesalahan deteksi dari penskalaan dan korelasi yang dapat menjadi eror pada trend dan non stasioner (Peng et al., 1994). Metode ini menghasilkan komponen α yang dapat mendeteksi adanya korelasi dalam variasi nilai data sebagai fungsi waktu, $y(n)$ (Herdiwijaya & Indradjaja, 2002). DFA beroperasi pada deret waktu $x(i)$, di mana $i = 1, 2, \dots, N$ dan N adalah panjang deret dan x_{ave} adalah waktu interevent rata-rata, yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y(k) = \sum_{i=1}^k [x(i) - x_{ave}] \quad (1)$$

Tahap selanjutnya menghitung fluktuasi akar kuadrat terkecil melalui rumus sebagai berikut:

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^n [y(k) - y_n(k)]^2} \quad (2)$$

dimana $y(k)$ adalah variasi nilai data sebagai fungsi waktu dan $y_n(k)$ adalah linier local trend dalam tiap kotak pengamatan.

Perhitungan ini memberikan hubungan antara $F(n)$ dan jumlah data pengamatan n . Jika $F(n)$ berperilaku sebagai fungsi n , maka penskalaannya menjadi:

$$F(n) \propto n^\alpha \quad (3)$$

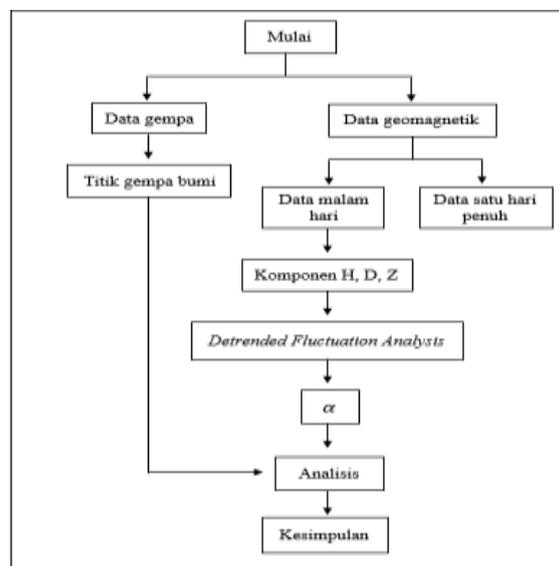
Fluktuasi dapat dijelaskan berdasarkan eksponen penskalaan (α), yang dapat mewakili kemiringan garis yang sesuai terkait $\log F(n)$ ke $\log n$. Dengan α memberikan informasi tentang jenis korelasi, dimana. Jika $\alpha < 0,5$, maka data bersifat anti persistent atau acak. Sedangkan jika $\alpha > 0,5$ menyatakan data bersifat persistent atau tidak acak dan jika $\alpha > 1$ menyatakan data bersifat stasioner atau nilai data invarian dalam rentang waktu tertentu (Herdiwijaya & Indradjaja, 2002). Jika $\alpha = 1$ menunjukkan dinamika *noise flicker* dan $\alpha = 1,5$ mencirikan proses Brownian seperti dinamika (Febriani et al., 2014).

Indeks DST (*Disturbance Strom Time*)

Salah satu indeks yang dapat mengukur variasi magnetik khususnya kekuatan badai magnetik bumi yaitu *disturbance storm time index* (indeks Dst) (Ahmad & Herdiwijaya, 2014). Aktivitas badai geomagnetik terbagi menjadi 3 bagian yaitu jika indeks Dst mencapai -50 nT dan 50 nT peristiwa tersebut dianggap sebagai badai geomagnetik, jika melewati -100 nT dan 100 nT peristiwa tersebut dianggap sebagai badai yang intens dan jika melebihi dari -300 nT dan 300nT terjadi badai geomagnetik yang besar (Cerrato et al., 2004).

METODE

Tempat Penelitian dilakukan di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, Banten. Sedangkan waktu pelaksanaan berlangsung sejak 21 April 2019 sampai 10 Oktober 2019, meliputi pengumpulan data, pengolahan dan interpretasi data yang diperoleh. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) berupa data gempa bumi dan geomagnetik daerah Lebak, Banten pada Januari sampai dengan Februari 2018.



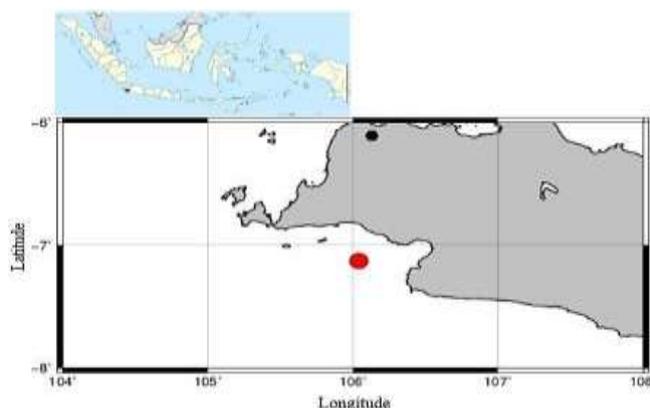
Gambar 1. Bagan Tahapan Penelitian

Berdasarkan gambar 1, dalam proses pengolahan digunakan *Software GMT Hawaii* dan *Software Octave*. *Software GMT Hawaii* digunakan untuk proses plotting titik gempa bumi dan letak stasiun BMKG Banten. *Software Octave* digunakan untuk proses DFA yang mana data time series dikelompokkan ke dalam beberapa selang interval (kotak pengamatan) yang mana di setiap kotak pengamatan dicari nilai *linear local trend*, $y_n(k)$. Selanjutnya nilai $y(k)$ diperoleh dari persamaan (1) selanjutnya nilai fluktuasi rata-rata dari data time series didapat dengan menggunakan persamaan (2). Perhitungan pada persamaan (2) akan diulangi sebanyak jumlah data dalam fungsi waktu, ini berguna untuk memperlihatkan adanya hubungan antara fluktuasi rata-rata $F(n)$ dan jumlah data pengamatan (n).

HASIL DAN PEMBAHASAN

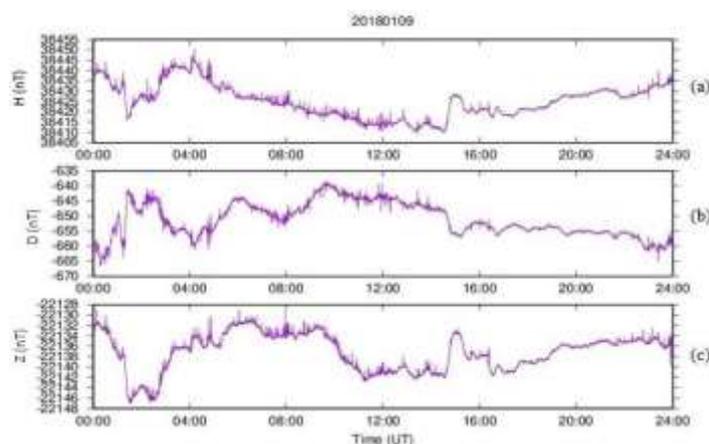
Hasil yang didapatkan dari tahapan *plotting* titik gempa bumi yaitu berupa peta dapat dilihat pada gambar 2 dengan indikator sumbu x yang menunjukkan *longitude* daerah penelitian dan

sumbu y yang menunjukkan latitude daerah penelitian. Selain itu peta tersebut dilengkapi dengan indikator berbentuk lingkaran yang berwarna merah menunjukkan titik pusat gempa bumi di Lebak, Banten dengan magnitudo 6,1 dan kedalaman 46 km yang berjarak 113,9 km dari stasiun Banten, terjadi pada 23 Januari 2018 tepat pukul 13:34:53 WIB terletak di $-7,13^{\circ}$ S dan $106,04^{\circ}$ E dan untuk indikator berbentuk segilima berwarna hitam menunjukkan titik letak stasiun BMKG Banten di $-6,11^{\circ}$ S dan $106,13^{\circ}$ E.



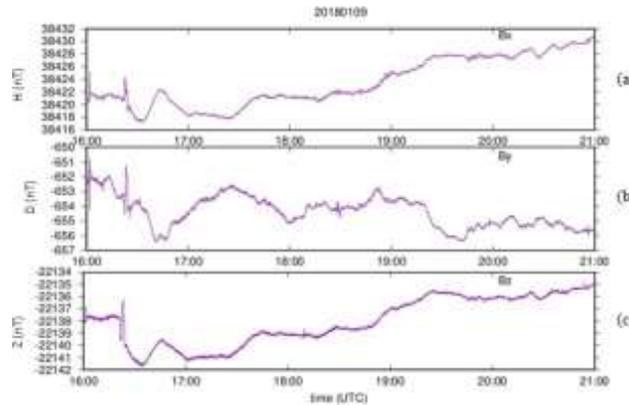
Gambar 2. Titik Pusat Gempa Bumi M 6,1 dan Stasiun BMKG Banten

Hasil dari tahapan pengolahan data geomagnetik satu hari penuh berupa gambar yang terdiri dari 3 panel dengan indikator grafik berwarna ungu menunjukkan variasi geomagnetik harian, sumbu y terdiri dari komponen H, D dan Z yang menunjukkan medan magnetik dan sumbu x pada masing-masing panel yang menunjukkan waktu dalam satu hari penuh melingkupi pukul 00:00 – 24:00 dengan format UT (*Universal Time*) yang apabila dirubah ke dalam zona waktu Indonesia melalui format UT+07:00 untuk Waktu Indonesia Barat (WIB), UT+08:00 untuk Waktu Indonesia Tengah (WITA) dan UT+09:00 untuk Waktu Indonesia Timur (WIT) maka menjadi pukul 07:00 – 07:00 WIB, 08:00 – 08:00 WITA dan 09:00 – 09:00 WIT dapat diwakili oleh gambar 3.



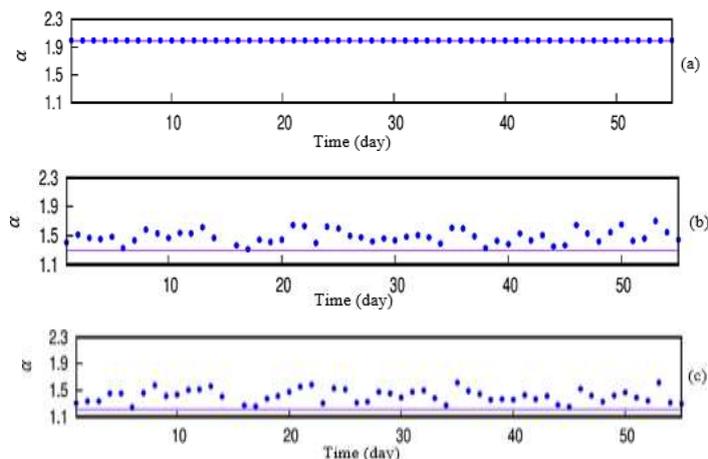
Gambar 3. Variasi Geomagnetik Harian pada 09 Januari 2018, (a) Medan Magnet Komponen H, (b) Medan Magnet Komponen D, (c) Medan Magnet Komponen Z.

Berdasarkan hasil pengolahan data geomagnetik satu hari penuh pada 09 Januari 2018, terlihat banyaknya gangguan (*noise*) pada waktu siang hari dengan dicirikan terdapat lonjakan-lonjakan (*spike*) sehingga dapat memberikan hasil yang kurang optimal. Untuk meminimalisir banyaknya *noise* yang terdapat pada waktu siang hari, maka dilakukanlah pengolahan data geomagnetik malam hari dapat diwakili oleh gambar 4.



Gambar 4. Variasi Geomagnetik Malam Hari pada 09 Januari 2018, (a) Medan Magnet Komponen H, (b) Medan Magnet Komponen D, (c) Medan Magnet Komponen Z

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah pengolahan data malam hari dengan menerapkan metode *detrended fluctuation analysis* (DFA), sehingga menghasilkan gambar yang terdiri dari tiga panel dengan indikator titik berwarna biru menunjukkan variasi nilai α terhadap waktu, garis horizontal berwarna ungu menunjukkan *mean* -3σ untuk batas minimum anomali pada nilai α , sumbu x pada masing-masing panel yang menunjukkan waktu selama bulan Januari-Februari 2018 dan sumbu y pada masing-masing panel yang menunjukkan nilai α dapat dilihat pada gambar 5.



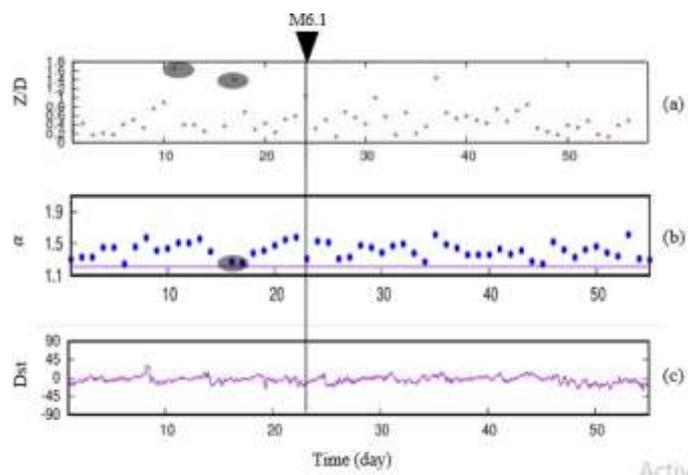
Gambar 5. (a) Hasil DFA (α) Komponen H, (b) Hasil DFA (α) Komponen D, (c) Hasil DFA (α) Komponen Z

Gambar 5 memperlihatkan nilai α komponen H tampak bahwa sinyal terhadap waktu berada dalam rentang $\alpha = 1.99$, sedangkan untuk komponen D dan Z berada dalam rentang $\alpha = 1.2$ sampai dengan 1.6. Berdasarkan rentang nilai α dari ketiga komponen tersebut bersifat stasioner atau nilai data *invariant* dalam rentang waktu tertentu ($\alpha > 1$) dan termasuk data yang memperlihatkan adanya korelasi positif dalam sinyal data (*persistent*) ($\alpha > 0,5$). Data yang tidak acak (*persistent*) memiliki kemungkinan untuk dapat di prediksi (Herdiwijaya & Indradjaja, 2002). Adanya perbedaan nilai α dari masing-masing komponen pada data geomagnetik dikarenakan masing- masing komponen memiliki nilai rata-rata α yang berbeda.

Penelitian dengan metode DFA ini dapat mengkonfirmasi kebenaran dari hasil yang diperoleh oleh metode *spectral density ratio* yang berfokus pada ULF. *Spectral density ratio* adalah analisa polarisasi rasio yang dilakukan pada spektrum *Ultra Low Frequency* (ULF) yang berguna untuk mengetahui anomali geomagnetik. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang

meyakinkan, maka hasil DFA (α) disandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya dengan metode *spectral density ratio* Z/D pada frekuensi 0,02 Hz (Hak, 2018).

Pada hasil *spectral density ratio* Z/D mengalami peningkatan yang terjadi pada tanggal 11 dan 16 Januari 2018. Pada saat yang sama hasil DFA (α) komponen vertikal (Z) mengalami penurunan nilai α pada tanggal 16 dan 17 Januari 2018 yang dapat dilihat pada panel (b) dari Gambar 7. Pada nilai indeks DST menunjukkan bahwa gempa bumi di Lebak, Banten 2018 (M= 6,1) sebelum (*pre-seismic*) dan sesaat (*co-seismic*) kejadian, terjadi pada saat hari tenang (*quiet day*) yang mana nilainya tidak melebihi 45 nT dan tidak berada di bawah -45 nT. Dengan demikian, sinyal emisi ULF dapat dianalisis dengan baik karena tidak terjadi aktivitas badai geomagnetik global dapat dilihat pada panel (c) dari gambar 6.



Gambar 6. Panel (a) Menunjukkan Hasil *Spectral Density Ratio* Z/D pada Frekuensi 0,02 Hz (Hak, A. S., 2018), Panel (b) Menunjukkan Hasil DFA (α) Komponen Vertikal (Z), Panel (c) Menunjukkan Indeks DST.

Dengan penurunan nilai α pada DFA ini dapat mengkonfirmasi kebenaran adanya kemunculan anomali pada tanggal 11 dan 16 Januari 2018 yang diperoleh oleh metode *spectral density ratio* Z/D yang teridentifikasi pada 7 hari dan 11 hari sebelum gempa bumi dapat terlihat pada indikator lingkaran berwarna abu-abu. Setelah terjadinya gempa bumi M=6,1, tidak ada peningkatan yang jelas dari *spectral density ratio* Z/D dengan penurunan simultan dari nilai α . Penggunaan secara bersamaan antara *spectral density ratio* dan DFA sangat efektif untuk mendeteksi adanya kemunculan anomali geomagnetik ULF terkait gempa bumi.

PENUTUP

Berdasarkan hasil pengolahan data geomagnetik bumi dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sebelum terjadinya gempa bumi di Lebak, Banten pada tanggal 23 Januari 2018 yang bermagnitudo 6,1 didahului oleh anomali sinyal geomagnetik *ultra low frequency* (ULF), ini ditunjukkan adanya kenaikan hasil *spectral density ratio* Z/D dengan frekuensi 0,02 Hz yang tervalidasi oleh hasil dari metode DFA yang mengalami penurunan nilai α pada panel komponen D dan Z. Kemunculan anomali ini sekitar 7 hingga 11 hari sebelum kejadian gempa bumi bermagnitudo 6,1.

REFERENSI

- [1] Ahmad, N., & Herdiwijaya, D. (2014). *Analisis korelasi kasus anomali satelit melalui variasi magnetik bumi (Correlation analysis of anomaly cases through geomagnetic variation)*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan).

- [2] Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika. (2018). *Press Release*. NO: UM.505/IST23-13/KPG/I/2018.
- [3] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2018). *INFO BENCANA Edisi Januari 2018*. Jakarta: Graha BNPB.
- [4] Cerrato, Y., Saiz, E., Cid, C., & Hidalgo, M. A. (2004). *Geomagnetic Storms: Their sources and a model to forecast the Dst Index*. Lecture Notes and Essays in Astrophysics, 1.
- [5] Delfebriyadi. (2008). *Studi Hazard Kegempaan Wilayah Propinsi Banten Dan Dki Jakarta*. Padang: Universitas Andalas.
- [6] Febriani, F., Han, P., Yoshino, C., Hattori, K., Nudiyanto, B., Effendi, N., Maulana, I., Suhardjono, & Gaffar, E. (2014). *Ultra Low Frequency (ULF) Electromagnetic Anomalies Associated with Large Earthquakes in Java Island, Indonesia by Using Wavelet Transform and Detrended Fluctuation Analysis*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 789-798. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-789-2014>.
- [7] Ganesha, D. (2011). *Wilayah Kerentanan Terhadap Gempa Bumi Di Kabupaten Pandeglang Bagian Barat (Studi Kasus Sebagian Kecamatan Cigeulis, Cimanggu Dan Sumur)*. Depok: Universitas Indonesia.
- [8] Hak, A. S. (2018). *Anomali Data Elektromagnetik Pada Frekuensi Sangat Rendah (Ultra Low Frequency) Yang Berkaitan Dengan Gempa M = 6,1 Di Daerah Lebak, Banten*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Jakarta.
- [9] Herdiwijaya, D., & Indradjaja, B. (2002). *Fraktal Variabilitas dalam Siklus Bintik Matahari*.
- [10] Kontribusi Fisika Indonesia, 13.
- [11] Ida, Y., Yang, D., LI, Q., Sun, H., & Hayakawa, M. (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.
- [12] Masruri, M. F. I., Nanda, B. M. T. F., & Syirojudin, M. (2017). *Analisis Preseismic Event Menggunakan Data Geomagnetik Studi Kasus: Gempa Bumi Selat Sunda 28 Juni 2016 M 5.0*. Semarang: Universitas Negeri Semarang. Jurnal Fisika, 7.
- [13] Pakpahan, S., Nurdianto, B., & Ngadmanto, D. (2014). *Analisis Parametergeo-Atmosferik dan Geokimia Sebagai Prekursor Gempabumi di Pelabuhan Ratu, Sukabumi*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika, 15.
- [14] Peng, C. K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1994). *Mosaic organization of DNA nucleotides*. Phys. Rev. E, 49.
- [15] Sapiie, B., Magetsari, N. A., Harsolumakso, A. H., & Abdullah, C. I. (2006). *Geologi Fisik*.
- [16] Bandung: *Institut Teknologi Bandung (ITB)*.
- [17] Sari, R. A. (2019). *Penentuan Persamaan Empiris Untuk Memprediksi Magnitudo Gempabumi Menggunakan Parameter Prekursor Gempabumi Dari Anomali Magnetik Lombok Nusa Tenggara Barat*. Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung.