

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.EPA.07

APLIKASI METODE MEAN DAN MEDIAN *ABSOLUTE DEVIATION* PADA DATA ELEKTROMAGNET SEBAGAI PREKURSOR GEMPA BUMI DI PELABUHAN RATU

Sulastr^{a)}, Supriyanto Rohadi^{b)}, Bambang Sunardi, Aprilia Nur Vita,
Angga Setiyo Prayogo

Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG Jl. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Jakarta 10720

Email: ^{a)}sulastr^{a)}@bmgk.go.id, ^{b)}srohadi@yahoo.com

Abstrak

Anomali elektromagnet bisa digunakan dalam mendeteksi keberadaan prekursor gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode statistik yang sesuai pada pengolahan data elektromagnet di Pelabuhan Ratu. Metode *mean* dan *median absolute deviation* diaplikasikan pada data elektromagnet Pelabuhan Ratu periode Januari sampai November 2016. Anomali elektromagnet diteliti pada rasio polarisasi *Hz/Hh* dan *Hh/Hht*, serta impedansi elektromagnet *E/H*. Untuk menentukan apakah anomali tersebut merupakan prekursor gempabumi atau karena badai magnet, dilihat data indeks Dst pada tanggal yang bersesuaian. Terdapat anomali elektromagnet pada kedua metode yang diaplikasikan, baik sebagai prekursor gempabumi maupun karena badai magnet, dengan anomali pada impedansi elektromagnet *E/H* yang tidak signifikan. *Median absolute deviation* memberikan hasil yang lebih baik daripada *mean absolute deviation* dalam identifikasi keberadaan anomali elektromagnet. Dengan demikian, *median absolute deviation* lebih sesuai untuk diaplikasikan pada pengolahan data elektromagnet sebagai prekursor gempabumi di Pelabuhan Ratu.

Kata kunci: Anomali elektromagnet, prekursor gempa bumi, mean, median.

Abstract

Electromagnetic anomalies can be used in detecting the presence of earthquake precursors. This study aimed to obtain appropriate statistical methods of electromagnetic data processing in Pelabuhan Ratu. The mean and median absolute deviation methods were applied to electromagnetic data of Pelabuhan Ratu from January to November 2016. The electromagnetic anomaly will be investigated in *Hz/Hh* and *Hh/Hht* polarization ratios and *E/H* electromagnetic impedance. To determine whether the anomaly is an earthquake precursor or due to a magnetic storm, it is necessary to look at Dst index data on the corresponding date. There were electromagnetic anomalies in both applied methods, either as earthquake precursors or due to magnetic storms, with anomalies in *E/H* electromagnetic impedance that were not significant. The median absolute deviation gave better results than the mean absolute deviation in the identification of electromagnetic anomalies existence. Thus, the median absolute deviation is more suitable to be applied to processing of electromagnetic data as an earthquake precursor in Pelabuhan Ratu.

Keywords: electromagnetic anomaly, earthquake precursor, mean, median.

PENDAHULUAN

Penelitian tentang prekursor gempabumi telah dilakukan oleh Puslitbang BMKG sejak 2008. Salah satu lokus penelitian prekursor gempabumi Puslitbang BMKG adalah Stasiun Observatori Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Jawa Barat yang terletak pada koordinat 07°00'22.4" LS dan 106°33'44.7" BT, dengan ketinggian 54 m. Penelitian prekursor di Pelabuhan Ratu dilakukan dengan pengamatan parameter V_p/V_s , radon, elektromagnet, geotmosfer, tekanan udara, dan suhu tanah [1].

Beberapa penelitian menggunakan parameter diatas telah berhasil dalam mendeteksi prekursor gempabumi, yaitu elektromagnet [2], elektromagnet dan konsentrasi radon [3] dan [4], geotmosferik dan geokimia [5], TEC [6] dan [7], serta elektromagnet dan TEC [8].

Selama ini, pengamatan anomali data elektromagnet yang dilakukan menggunakan metode mean absolute deviation. Metode ini telah berhasil mendeteksi keberadaan anomali yang kemungkinan adalah prekursor gempabumi [2], [3], [4], dan [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode statistik yang sesuai pada pengolahan data elektromagnet sebagai prekursor gempabumi di Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Jawa Barat. Dengan adanya metode yang sesuai, diharapkan nantinya keberadaan anomali elektromagnet dapat dianalisa lebih tepat dan akurat, sehingga pendeteksian prekursor gempabumi dapat terdeteksi lebih baik.

METODE PENELITIAN

Data elektromagnet diperoleh dari pengamatan magnetotelurik yang dilakukan di Stasiun Observatori Pelabuhan Ratu. Data elektromagnet terdiri dari komponen listrik E_x dan E_y , serta komponen magnet H_x , H_y , dan H_z . Data yang dipakai adalah data harian hasil pengamatan tahun 2016, dari bulan Januari sampai Nopember (11 bulan).

Pengolahan data elektromagnet dilakukan dengan analisis rasio polarisasi spektral dari komponen vertikal dan horizontal (H_z/H_h), rasio polarisasi komponen horizontal terhadap rata - rata tahunan (H_h/H_{ht}), serta perubahan impedansi gelombang elektromagnet (E/H). Analisis rasio polarisasi menggunakan analisis spektral untuk mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan transformasi *wavelet* BD5, kemudian data difilter pada spektrum frekuensi 0.01 Hz. Untuk mengurangi noise, data yang dipakai adalah data dari jam 15:00 sampai 22:00 UTC (jam 23.00 - 05.00 WIB). Setelah diperoleh nilai analisis spektral setiap komponen (h dan z), kemudian rasio polarisasi dan juga impedansi dapat dihitung [2].

Terdapat dua metode statistik yang akan diaplikasikan pada data elektromagnet diatas. Metode pertama adalah *mean absolute deviation*. Metode ini menggunakan mean sebagai ukuran sentral. Nilai yang termasuk anomali adalah nilai yang lebih besar dari mean ditambah standar deviasi ($mean + stdev$) untuk rasio polarisasi H_z/H_h dan H_h/H_{ht} dan lebih kecil dari mean dikurangi standar deviasi ($mean - stdev$) untuk impedansi E/H . Metode ini adalah metode yang sudah digunakan dalam pengolahan data elektromagnet di Pelabuhan Ratu selama ini [2], [3], [4], dan [8], dengan mean dibuat setiap 10 harian [2].

Metode statistik kedua adalah *median absolute deviation (MAD)*. Metode *MAD* belum pernah digunakan dalam pengolahan data elektromagnet di Pelabuhan Ratu. Metode ini menggunakan median sebagai ukuran sentral. Nilai anomali ditentukan sebagai nilai yang lebih besar dari median ditambah *MAD* ($median + MAD$) untuk H_z/H_h dan H_h/H_{ht} , dan median dikurangi *MAD* ($median - MAD$) untuk E/H .

MAD dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$MAD = bM_i(|x_i - M_j(x_j)|) \quad (1)$$

dengan b adalah konstanta (biasanya 1.4826 untuk data normal), M_i dan M_j adalah median [9]. Dalam penelitian ini nilai b yang digunakan adalah 1.

Selanjutnya, data gempabumi yang kemungkinan terdeteksi prekursornya oleh elektromagnet di Pelabuhan Ratu adalah gempabumi yang terjadi selama tahun 2016 dan memenuhi zona manifestasi prekursor. Gempabumi yang akan digunakan adalah gempabumi dengan magnitudo ≥ 4 Skala Richter dan masih berada dalam zona manifestasi prekursor.

Dalam penelitian ini, zona manifestasi prekursor yang digunakan merujuk pada Dobrovolsky [10], yaitu sebuah lingkaran dengan radius *Dobrovolsky* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = 10^{0.43M} \quad (\text{dalam km}) \quad (2)$$

dengan M adalah magnitudo gempabumi.

Parameter elektromagnet terpengaruh oleh badai magnet akibat aktifitas matahari, yang dapat menimbulkan anomali. Badai magnet ini bisa diklasifikasikan sebagai badai lemah, moderat (sedang), kuat, *severe* (sangat kuat), dan super berdasarkan nilai indeks Dst yang dapat dilihat pada Tabel 1. Data nilai indeks Dst dapat diperoleh secara online dari Kugi [11]. Data indeks Dst diproses menggunakan rata - rata harian [12].

Tabel 1. Data Klasifikasi Badai Geomagnet Berdasarkan Indeks Dst [13]

No	Kategori Badai Geomagnet	Rentang Indeks Dst (nT)
1	Lemah	$-30 \geq \text{Dst} > -50$
2	Moderat (sedang)	$-50 \geq \text{Dst} > -100$
3	Kuat	$-100 \geq \text{Dst} > -200$
4	<i>Severe</i> (sangat kuat)	$-200 \geq \text{Dst} > -300$
5	Super	$\text{Dst} \leq -300$

Menurut Hayakawa [14] dan Hattori [15], anomali polarisasi *H_z/H_h* dan *H_h/H_{ht}* yang diduga sebagai prekursor gempabumi adalah kenaikan nilai. Konsep yang sudah ada sebelumnya adalah anomali elektromagnet terjadi jika nilai polarisasi magnet naik melebihi rerata harian, yaitu saat terjadi *microcrack*. Setelah kejadian anomali, beberapa hari kemudian akan terjadi gempabumi, sehingga hal ini dapat dikatakan sebagai prekursor gempabumi. Pada penelitian ini, ditambahkan konsep anomali elektromagnet terjadi jika nilai polarisasi magnet naik melebihi mediannya.

Hasil penelitian Hayakawa [6] menunjukkan bahwa anomali impedansi *E/M* yang diduga prekursor gempabumi adalah penurunan nilai. Anomali impedansi pada penelitian ini adalah jika nilainya kurang dari rerata harian atau mediannya.

Nilai anomali elektromagnet yang terjadi kemungkinan terjadi karena badai magnet pada hari tersebut atau merupakan prekursor gempabumi yang akan terjadi. Karena penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan metode statistik yang sesuai untuk pengolahan data elektromagnetik di Pelabuhan Ratu (metode *mean* atau *median absolute deviation*), metode yang mendeteksi anomali terutama sebelum kejadian gempabumi atau badai magnet dengan lebih baik yang akan direkomendasikan dalam pengolahan data elektromagnet Pelabuhan Ratu.

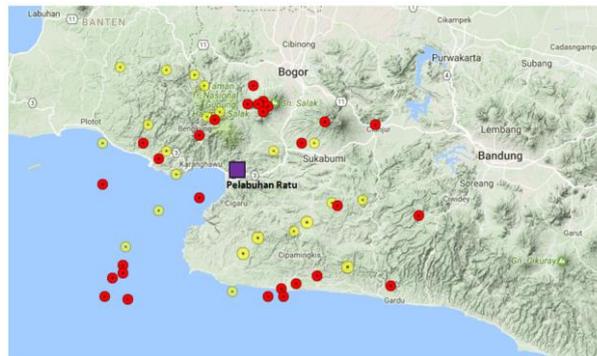
HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 50 gempabumi yang terjadi di sekitar Pelabuhan Ratu selama tahun 2016, yang tersebar seperti pada Gambar 1. Gempabumi ini terjadi pada tanggal 6, 16, 17, 26, dan 27 Januari, 2, 12, 16,18, 20, 21, dan 23 Februari, 6, 10, 12, 27, dan 28 Maret, 9, 11, 13, 22, dan 29 April, 4, 8, 11, 14, 16, dan 22 Mei, 11, 14, 16, dan 22 Juni, 4, 9, 14, 17, dan 19 Juli, 19 Agustus, 1, 5, dan 28 September, 4, 6, 10, 14, 21, dan 30 Oktober, serta 3, 7, 12, 20, 24, dan 28 Nopember. Gempabumi dengan kekuatan terbesar terjadi pada tanggal 3 Nopember dengan magnitudo 5.9.

Selama tahun 2016, terjadi hari badai magnetik sebanyak 32 hari. Umumnya, badai yang terjadi adalah badai lemah, hanya 2 hari badai yang dapat digolongkan sebagai badai moderat, yaitu tanggal 8 Mei dan 13 Oktober. Terdapat 11 hari dimana saat tersebut terjadi gempabumi yang bersamaan dengan terjadinya badai magnet, yaitu tanggal 18 Februari, 27 dan 28 Maret, 13 April, 8 Mei, 1 dan 28 September, 4, 14, dan 30 Oktober, dan 3 Nopember.

Nilai *H_z/H_h* selama 11 bulan bervariasi, dari mendekati nol yang terkecil dan yang terbesar 1,67. Nilai *H_z/H_h* mendekati nol dari 1 - 27 Januari, 1 - 8 Februari, 22 - 26 Maret, 6 April - 20 Mei, 3 Juni - 23 Juli, dan 18 - 26 Oktober. Pada tanggal - tanggal yang telah disebutkan diatas, nilai *H_z/H_h* tidak digolongkan sebagai anomali, karena nilainya yang sangat kecil. Dari tanggal 28 Januari hingga 5 April, fluktuasi nilai *H_z/H_h* sangatlah tinggi dan mempengaruhi nilai rerata hariannya. Dari Gambar 2 diketahui bahwa nilai rerata harian yang tadinya awalnya kecil akhirnya membesar. Nilai anomali yang terdeteksi oleh *mean+stdev* masih cukup banyak sebelum tanggal 22 Maret, yang kemungkinan

merupakan prekursor untuk gempa bumi tanggal 26 dan 27 Januari, 2 dan 12 Februari, 6, 10, dan 12 Maret.



GAMBAR 1. Sebaran gempa bumi di sekitar Pelabuhan Ratu tahun 2016 [16].

Nilai rerata harian ini mempengaruhi nilai $\text{mean} + \text{stdev}$ yang juga meningkat dan berfluktuasi sampai akhirnya stabil pada nilai mendekati 1 pada tanggal 22 Juli. Mulai bulan April, anomali yang berhasil ditunjukkan oleh $\text{mean} + \text{stdev}$ hanya 6 hari, yaitu tanggal 24 - 26 Mei, 2 Juli, 1 Agustus, dan 1 Nopember. Dari keenam anomali ini, hanya dua anomali yang jelas merupakan prekursor gempa bumi tanggal 4 Juli dan 6 Agustus (karena keempat anomali lainnya diikuti dengan badai magnet). Dapat dikatakan bahwa kemampuan $\text{mean} + \text{stdev}$ untuk mendeteksi anomali setelah tanggal 31 Maret sangat menurun.

Performa $\text{median} + \text{MAD}$ dalam mendeteksi anomali Hz/Hh sebelum tanggal 31 Maret lebih baik daripada $\text{mean} + \text{stdev}$, karena anomali yang terdeteksi lebih banyak. Metode $\text{median} + \text{MAD}$ ini selain mendeteksi gempa bumi tanggal 4 Juli dan 6 Agustus, juga mendeteksi gempa bumi tanggal 22 Juni, 19 Agustus, dan 20 Nopember. Disamping itu, badai magnet yang terdeteksi oleh $\text{median} + \text{MAD}$ lebih banyak.

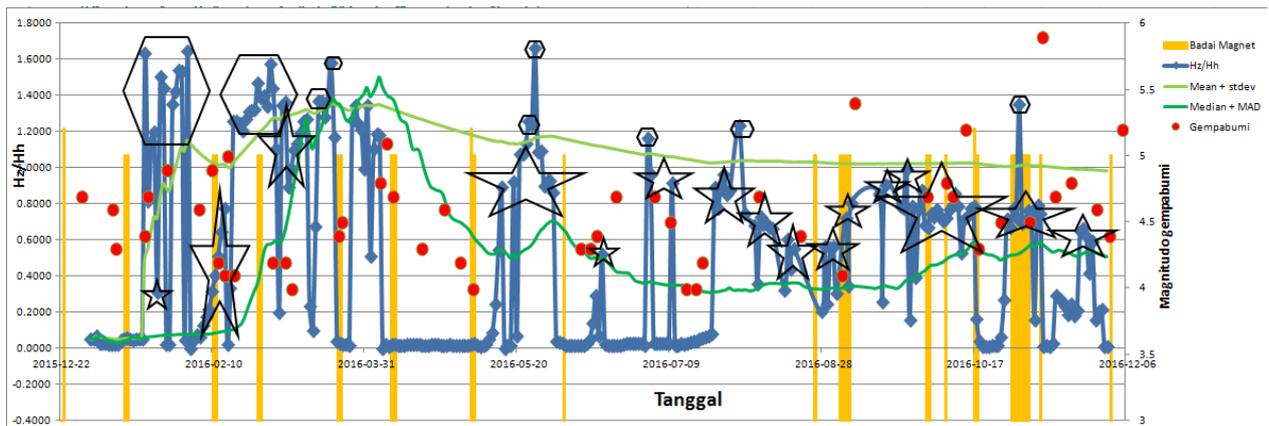
Rasio polarisasi Hh/Hht juga mengalami fluktuasi, dengan nilai minimal mendekati nol sampai nilai tertinggi 8,68. Gambar 3 menunjukkan rasio Hh/Hht dan aplikasi metode $\text{mean} + \text{stdev}$ dan $\text{median} + \text{MAD}$ pada nilai tersebut. Seperti halnya pada Hz/Hh, metode $\text{median} + \text{MAD}$ dapat mendeteksi anomali lebih baik daripada $\text{mean} + \text{stdev}$. Anomali Hh/Hht yang muncul diperkirakan merupakan prekursor untuk gempa bumi tanggal 9, 11, 22, dan 29 April, 4 Mei, 22 Juni, 4, 9, 14, dan 17 Juli.

Impedansi elektromagnet E/H mempunyai fluktuasi yang tinggi, dari mendekati nol sampai 185, seperti pada Gambar 4. Anomali yang terdeteksi pada impedansi ini hanya beberapa, yaitu tanggal 3 - 7 Februari (terdeteksi oleh $\text{median} - \text{MAD}$), 16 September, dan 16 Oktober (terdeteksi oleh kedua metode). Diduga, anomali tersebut merupakan prekursor untuk gempa bumi tanggal 12 Februari dan 21 Oktober.

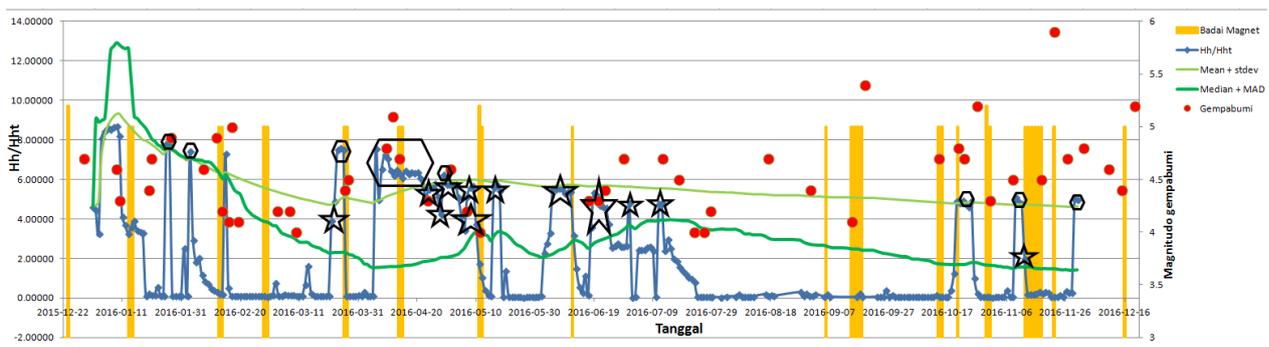
Metode median absolute deviation telah mampu mendeteksi anomali data elektromagnet secara lebih baik daripada mean absolute deviation. Metode median absolute deviation selanjutnya bisa digunakan dalam pengolahan data elektromagnet sebagai prekursor gempa bumi di Pelabuhan Ratu. Pengujian metode baru dalam pengolahan data pengamatan parameter prekursor gempa bumi di Pelabuhan Ratu masih diperlukan, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

SIMPULAN

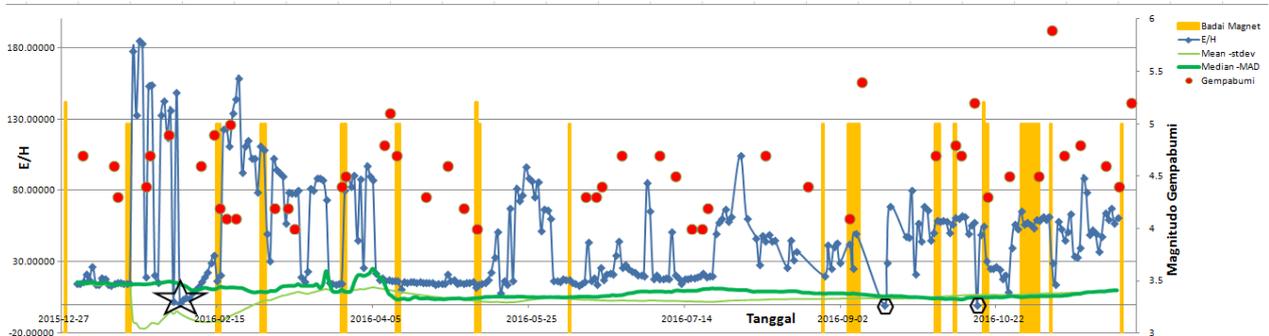
Metode *mean* dan *median absolute deviation* telah diaplikasikan pada data elektromagnet Pelabuhan Ratu tahun 2016 sebagai prekursor gempa bumi. Kedua metode telah berhasil mendeteksi anomali, baik karena badai magnet maupun sebagai prekursor gempa bumi. Metode *median absolute deviation* telah mendeteksi anomali secara lebih baik pada tiga komponen yang dianalisis, yaitu rasio polarisasi Hz/Hh dan Hh/Hht serta impedansi E/H, meskipun pada impedansi E/H anomali yang terdeteksi tidak signifikan. Metode *median absolute deviation* lebih sesuai digunakan untuk menganalisa data elektromagnet Pelabuhan Ratu sebagai prekursor gempa bumi.



GAMBAR 2. Aplikasi *mean + stdev* dan *median + MAD* pada rasio polarisasi elektromagnet H_z/H_h . Nilai yang berada dalam tanda bintang menunjukkan anomali yang ditunjukkan oleh *median + MAD*, dan nilai yang berada dalam heksagonal adalah anomali yang ditunjukkan oleh *mean + stdev* dan *median + MAD*.



GAMBAR 3. Aplikasi *mean + stdev* dan *median + MAD* pada rasio polarisasi elektromagnet H_h/H_{ht} . Nilai yang berada dalam tanda bintang menunjukkan anomali yang ditunjukkan oleh *median + MAD*, dan nilai yang berada dalam heksagonal adalah anomali yang ditunjukkan oleh *mean + stdev* dan *median + MAD*.



GAMBAR 4. Aplikasi *mean + stdev* dan *median + MAD* pada impedansi gelombang elektromagnet E/H . Nilai yang berada dalam tanda bintang menunjukkan anomali yang ditunjukkan oleh *median - MAD*, dan nilai yang berada dalam heksagonal adalah anomali yang ditunjukkan oleh *mean - stdev* dan *median - MAD*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, terutama kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG serta rekan - rekan di Puslitbang BMKG.

REFERENSI

- [1] B. Sunardi, et al., "Pengembangan Sistem Monitoring Prekursor Gempabumi dan Early Warning Tsunami Berdasarkan Data TEC- GPS," dalam *Prosiding Seminar Hasil- Hasil Penelitian dan Pengembangan Puslitbang BMKG Tahun 2015*, Jakarta, 2016, pp. 60 - 72.
- [2] A. S. Prayogo dan B. Sunardi, "Tren Anomali Elektromagnetik Sebagai Prekursor Gempabumi Dengan Parameter Terkait di Observatori Pelabuhan Ratu," *Natural B Journal of Health and Environmental Sciences*, vol. 3 no1, pp. 35-43, April 2015.
- [3] A. S. Prayogo, et al., "Assessment of Electromagnetik and Radon Concentration as Earthquake Precursors," dalam *Proceeding of The 5th Annual Basic Science International Conference Advancing to the frontier of innovation in science*, Malang, 2015, pp. 77-80.
- [4] A. S. Prayogo dan S. Pakpahan, "Integrasi Polarisasi Impedansi Elektromagnetik dan Konsentrasi Gas Radon Sebagai Prekursor Gempabumi (Studi Kasus Gempabumi di Selatan Jawa Bagian Barat)," dalam *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2015, Peningkatan Kualitas Riset Bidang Fisika dan Pendidikan Fisika untuk Memantapkan Strategi Menghadapi MEA 2015*, Surabaya, 2015, pp. 349-355.
- [5] S. Pakpahan et al., "Analisis Parameter Geo-Atmosferik dan Geokimia Sebagai Prekursor Gempabumi di Pelabuhan Ratu, Sukabumi," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol. 15 No 2, pp. 77-86, 2014.
- [6] B. Sunardi, et al., "Anomali Total Electron Content (TEC) Sebelum Gempabumi Kuat di Indonesia Tahun 2014," dalam *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2015, Peningkatan Kualitas Riset Bidang Fisika dan Pendidikan Fisika untuk Memantapkan Strategi Menghadapi MEA 2015*, Surabaya, 2015, , pp. 378-384.
- [7] B. Sunardi dan Sulastri, "Pemantauan Anomali Total Electron Content (TEC) Berkaitan dengan Kejadian Gempabumi di Wilayah Jawa Tahun 2015," *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, pp. 1-6, 2016, <http://js-unj.ac.id/>.
- [8] Sulastri, et al., "Anomali Elektromagnet dan Total Electron Content Sebagai Prekursor Gempabumi di Pelabuhan Ratu," dalam *Prosiding Seminar Sains Antariksa*, Bandung, 2016.
- [9] C. Leys, et al., "Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median," *Journal of Experimental Social Psychology*, vol. 49 issue 4, pp. 764-766, Juli 2013.
- [10] Dobrovolsky, et al., "Estimation of the Size of Earthquake Preparation Zones," *Pageoph* 117, pp. 1025-1044. 1979, doi:10.1007/BF00876083.
- [11] WDC (World Data Center) for Geomagnetism, http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201601/index.html, diakses tanggal 1 April 2017.
- [12] S. C. Pranoto, "Studi tentang Badai Magnet Menggunakan Data Magnetometer di Indonesia," dalam *Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng dan DIY*, Yogyakarta, 2010.
- [13] C. A. Loewe dan G. W. Prohls, "Classification and Mean Behavior of Magnetic Storms," *J. Geophys. Res. Vol. 102*, pp. 14209-14213, 1997.
- [14] M. Hayakawa, et al., "Result of Ultra - Low Frequency Magnetic Field Measurements during the Guam Earthquake of 8 August 1993," *Geophysical Research Lett.*, 23(3), pp. 241-244, 1996.
- [15] K. Hattori, "ULF Electromagnetic Changes Possibly Associated with Crustal Activity," dalam *Proceeding Electromagnetics in Seismic and Volcanic Areas. Bilateral Seminar Italy-Japan*, Japan, 2007, pp. 41-56.
- [16] Repositori gempabumi BMKG, <http://repogempa.bmkg.go.id/index.php>, diakses tanggal 2 April 2017.