

# INVESTIGASI SUDUT PERGERAKAN SESAR DI SEGMENT MUSI KEPAHIANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK

## INVESTIGATING DIP ANGLE OF FAULT MOVEMENT IN MUSI SEGMENT USING RESISTIVITY METHOD

Ashar Muda Lubis\*, Devika Christina Butarbutar, Suhendra, Rida Samdara

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu

Jl. WR Supratman, Kandang Limun, Kec. Muara Bangkahulu, Bengkulu, 38371.

\*E-mail: asharm1@unib.ac.id

Naskah masuk: 09 Februari 2018; Naskah diperbaiki: 24 September 2019; Naskah diterima: 5 Desember 2019

### ABSTRAK

Segmen Musi adalah salah satu segmen yang aktif di sesar Sumatra yang terletak di Kabupaten Kepahiang, Bengkulu. Beberapa kejadian gempa bumi pernah terjadi pada segmen ini, yaitu pada tahun 1979 dengan kekuatan  $M_w = 6,0$  dan tahun 1997 dengan kekuatan  $M_w = 5,0$ . Tingkat akumulasi energi berhubungan dengan geometri sesar, yang salah satunya adalah sudut (*dip*) pergerakan sesar. Untuk mengetahui sudut (*dip*) pergerakan sesar di segmen Musi telah dilakukan penelitian geofisika dengan metode geolistrik tahanan jenis. Ada 4 lintasan pengukuran dan setiap lintasan mempunyai panjang lintasan 480 m dengan jarak spasi antar elektroda sepanjang 10 m untuk 48 elektroda. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa resistivity kontras tampak antara  $< 100 \Omega m$  dan  $> 200 \Omega m$  pada setiap lintasan yang merupakan manifestasi keberadaan sesar Musi. Dari interpretasi resistivity kontras pada setiap lintasan, maka diperoleh sudut (*dip*) yang terbentuk pada pergerakan sesar sebesar  $45^\circ - 90^\circ$ . Namun demikian pada lintasan keempat diperoleh sudut yang tidak jelas, karena memperoleh kontras resistivity yang kurang jelas. Oleh karena itu masih diperlukan penelitian lanjutan dengan menggunakan metode geofisika yang lain seperti metode seismik refleksi.

**Kata Kunci** : Segmen Musi, metode geolistrik tahanan jenis, dan sudut dip

### ABSTRACT

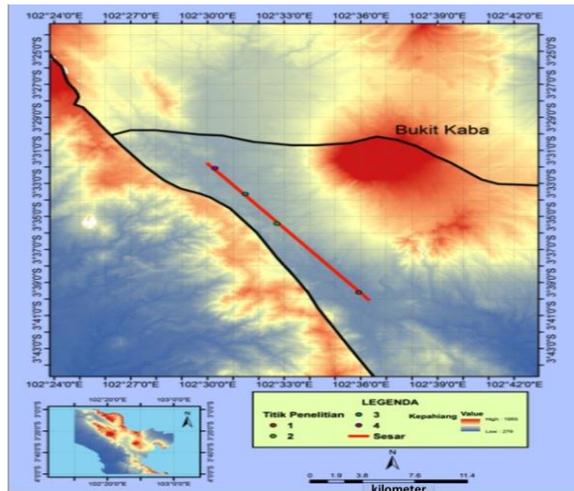
*One of an active segment along Sumatran fault is Musi segment, crossing Kepahiang regency. In this segment, great earthquakes occurred in 1979 with Magnitude Moment ( $M_w$ )= 6.0 and 1997 with  $M_w = 5.0$ . Currently, this segment is still active, and could be potentially broken in the near future, so that it is very important to conduct a research to investigate the level of energy accumulation in this segment. In general, the level of energy accumulation is related to geometry fault, and it is controlled by dip angle of fault. The aim of research is to investigate the dip angle of Musi segment using resistivity geoelectric method. There were four line resistivity measurements perpendicular to Musi segment, which each line has 480 m length with interval of 10 m for 48 pieces electrode. The results show that a resistivity contrast between  $< 100 \Omega m$  and  $> 200 \Omega m$  is detected for every line observation, indicating of the fault, which constructed by dip angle of  $45^\circ - 90^\circ$ . However, the fourth track, the observed dip angle of the fault is unclear. Therefore, further research in order to estimate better dip angle of the fault using other geophysics method is needed.*

**Key Words** : Musi segment, resistivity geoelectric method, and dip angle

## 1. Pendahuluan

Sesar Sumatra merupakan sesar geser *dekstral* dengan panjang sekitar 1900 km dengan mengakomodasikan sebagian energi hasil penunjaman Lempeng Australia disepanjang pantai barat Sumatra [1]. Sesar Sumatra yang membelah

Pulau Sumatera menjadi dua dari teluk Andaman di ujung utara sampai teluk Semangko di ujung selatan yang sejajar dengan kelurusan zona subduksi. Sesar Sumatra yang membelah Pulau Sumatera terbagi menjadi beberapa segmen [2].



Gambar 1. Peta penelitian didaerah segmen Musi, garis merah menunjukkan keberadaan sesar dan 4 titik menunjukkan lokasi penelitian. Garis hitam merupakan batas wilayah antar kabupaten.

Hal ini menyebabkan di Pulau Sumatera terdapat banyak sesar-sesar aktif, salah satunya di Provinsi Bengkulu. Sesar aktif di Provinsi Bengkulu yaitu segmen Musi yang merupakan salah satu segmen pada sesar Sumatera yang berada di Kabupaten Kepahiang (Gambar 1). Pada segmen ini gempa bumi besar pernah terjadi pada tanggal 15 Desember 1979 dengan kekuatan  $M_w=6,0$  terletak pada koordinat 3.5 LS, 102.4 BT dengan kedalaman 25 km. Gempa bumi lainnya yang pernah terjadi pada segment ini adalah gempa bumi pada tanggal 15 Mei 1997 dengan kekuatan  $M_w=5,0$ . Dengan demikian diperkirakan sedang berlangsung penyimpanan energi yang cukup besar pada segmen ini setelah kejadian gempa bumi di beberapa dekade lalu [3].

Penelitian tentang pergerakan sesar Sumatra khususnya pada segmen Musi telah dilakukan oleh beberapa peneliti, misalnya; penelitian untuk mengetahui pergerakan sesar pada segmen Musi menggunakan metode geologi [1]. Kemudian nilai *slip rate* yang terjadi akibat pergerakan sesar dengan melakukan pengamatan pergerakan posisi pada stasiun-stasiun pengamatan GPS dengan nilai *slip rate* yang diperoleh sebesar 15 mm/tahun [4]. Nilai *slip rate* yang diperoleh relatif besar sehingga tingkat akumulasi energi yang terbentuk di segmen Musi tersebut juga besar. Selain itu tingkat akumulasi energi pada sesar juga berhubungan dengan *locking depth*, luas bidang sesar dan geometri sesar; salah satunya sudut (*dip*) pergerakan sesar. Oleh karena itu penelitian tentang sudut (*dip*) pergerakan sesar pada segmen Musi sangat penting untuk dilakukan agar kita dapat memperkirakan akumulasi energi pada sesar yang lebih akurat.

## 2. Metodologi Penelitian

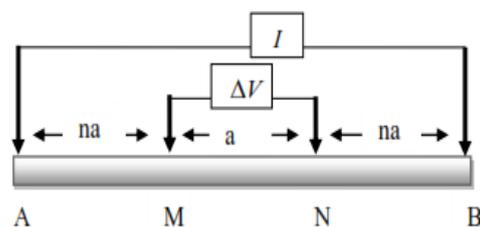
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geolistrik tahanan jenis. Metode yang biasa digunakan pada pengukuran resistivity secara umum

yaitu dengan menginjeksikan arus listrik kedalam tanah menggunakan elektroda. Sementara peralatan yang digunakan pada penelitian adalah satu set alat geolistrik resistivity MAEX612-EM, yang terdiri dari 4 buah kabel resistivity, 48 buah kabel elektroda dan 48 buah elektroda. Alat pendukung lainnya yakni 2 buah baterai 12 Volt, meteran dan peralatan GPS. Dalam melakukan eksplorasi tahanan jenis (resistivity) diperlukan pengetahuan mengenai perbandingan posisi titik pengamatan terhadap sumber arus. Perbedaan letak titik tersebut akan mempengaruhi besar medan listrik yang akan diukur. Oleh karena itu survei awal di lapangan dilakukan sebagai langkah awal sebelum pengambilan data untuk menentukan lokasi penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan konfigurasi metode metode geolistrik tahanan jenis. Pada penelitian ini digunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger. Konfigurasi ini merupakan konfigurasi dengan sistem aturan spasi yang konstan dengan catatan faktor pembanding “n”. Untuk konfigurasi ini memiliki perbandingan jarak antara elektroda AM dengan jarak antara MN seperti pada Gambar 2.

Jika jarak antara elektroda potensial MN adalah  $a$  maka jarak antara elektroda arus (A dan B) adalah  $2na + a$  seperti pada Gambar 2. Faktor geometri dari konfigurasi Wenner-Schlumberger adalah:

$$k = n(n + 1)\pi a \quad (2.1)$$

dimana  $a$  adalah jarak antara elektroda M dan N [5].



Gambar 2. Elektroda arus Wenner Schlumberger

Besaran koreksi terhadap perbedaan letak titik pengamatan dinamakan faktor geometri. Faktor geometri dihitung berdasarkan pada beda potensial ( $\Delta V$ ) yang terjadi antara elektroda potensial  $P_1$  dan  $P_2$  yang diakibatkan oleh injeksi arus ( $I$ ) pada elektroda  $C_1$  dan  $C_2$  adalah [5]:

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \quad (2.2)$$

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right\} \quad (2.3)$$

dari besarnya arus dan beda potensial yang terukur maka nilai resistivity dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right\}} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.4)$$

yang dapat disederhanakan menjadi:

$$\rho_a = K(\Delta V/I) \quad (2.5)$$

dimana  $K$  adalah faktor geometri dengan nilai:

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right\}} \quad (2.6)$$

Dalam pengambilan data (Gambar 3) pada penelitian dilakukan pada 4 lintasan yang memotong sesar Sumatra pada segemnt Musi. Titik koordinat penelitian pada lintasan tersebut dapat diketahui dari pengolahan data *Digital Elevation Model* (DEM) dengan menggunakan *Software ArcGis (ArcMap)* 10.3.

Hasil pengamatan data DEM dapat terlihat offset keberadaan sesar segmen Musi, sehingga hal ini dapat membantu untuk menentukan lokasi pengambilan data (Gambar 1). Panjang masing-masing lintasan yakni 480 m dan menggunakan 48 buah elektroda yang dimana jarak masing-masing elektroda 10 m. Jarak antara lintasan 1 ke lintasan 2 sejauh 3,9 km. Kemudian jarak lintasan 2 ke lintasan 3 sejauh 4 km. Sementara jarak lintasan 3 ke lintasan 4 sejauh 9,7 km. Pengolahan data lapangan menggunakan *software ERTlab64-1.2.0*. Data yang diolah menghasilkan penampang struktur bawah permukaan secara 2 Dimensi (2D). Penampang struktur bawah permukaan 2D yang telah diperoleh dari masing-masing titik pengukuran disusun sehingga menghasilkan penampang 2,5D, sehingga dengan visualiasi seperti ini akan dapat memudahkan kita untuk mengidentifikasi sudut (*dip*)



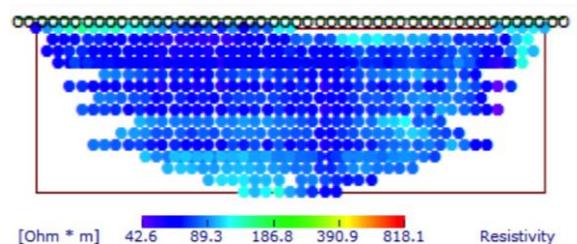
Gambar 3 Pengambilan data resistivity.

pergerakan sesar dari segmen Musi untuk tiap-tiap lintasan penelitian.

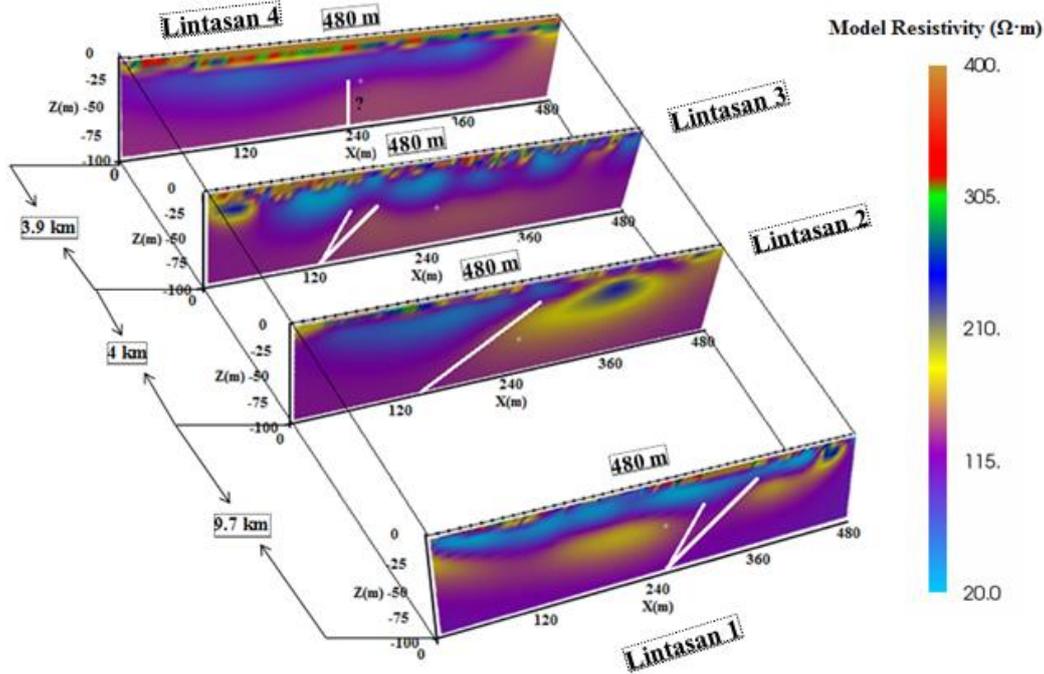
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 4 diperlihatkan titik datum penelitian dengan nilai resistivity semu yang digunakan sebagai model parameter untuk menentukan nilai resistivity terhadap kedalaman. Titik datum yang diperoleh memperlihatkan nilai resistivity semu yang relatif seragam. Nilai resistivity semu yang merupakan nilai resistivity permukaan homogen akan memberikan nilai resistivity semu yang relatif seragam untuk susunan elektroda yang sama yakni 10 m.

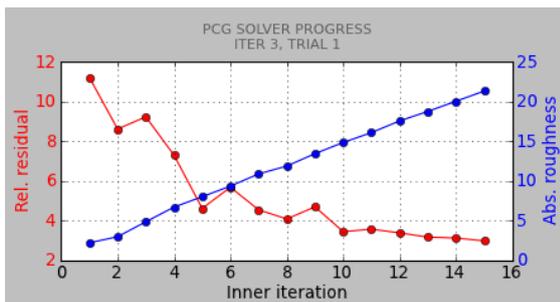
Kemudian data digunakan sebagai input dalam proses inversi geolistrik. Hasil penampang resistivity pada lintasan 1, 2, 3 dan 4 dapat dilihat pada Gambar 5. Penampang resistivity tersebut disusun dan menghasilkan penampang struktur bawah permukaan 2.5D. Pada penampang struktur bawah permukaan 2.5D tersebut dapat dilihat keberadaan resistivity yang kontras tampak antara  $<100 \Omega \text{ m}$  dan  $> 200 \Omega \text{ m}$  pada setiap lintasan. Keadaan ini dapat kita interpretasi sebagai bentuk manifestasi keberadaan sesar Musi (Gambar 5). Perbedaan nilai resistivity ini dikarenakan pada patahan sesar umumnya terisi oleh fluida atau mineral yang relatif lebih konduktif dari batuan sekitarnya [6]. Diskontinuitas nilai resistivity pada Gambar 5 dapat kita lihat garis putih yang merupakan sudut yang terbentuk pada sesar Sumatra pada segmen Musi. Besar sudut (*dip*) pergerakan sesar Sumatra yang terbentuk di segmen Musi sekitar  $45^\circ$ - $90^\circ$ . Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa geometry sepanjang segmen Musi tidak semuanya berprilaku *strike-slip fault* dengan sudut  $90^\circ$ . Pada Gambar 5 juga dapat dilihat lapisan sedimen pada bagian lapisan teratas yang menampakkan ketidakberaturan nilai resistivity pada lapisan ini sehingga sudut patahan tidak terlihat sampai ke permukaan tanah. Kedalaman lapisan sedimen berada pada rentang kedalaman 25-30 m bawah permukaan.



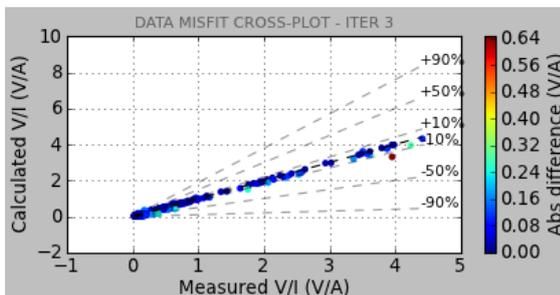
Gambar 4. Titik datum pada pengambilan data yang digunakan untuk pemodelan data geolistrik.



Gambar 5. Visualisasi nilai resistivity secara 2.5D yang menunjukkan sudut keberadaan sesar (gari putih) untuk masing-masing cross section pengukuran.



Gambar 6. Residual antara pengukuran dengan model tahanan yang mengecil (garis merah) sehubungan dengan meningkatnya faktor dumping dari model (garis biru) dan jumlah iterasi dari model.



Gambar 7. Perbandingan nilai model tahanan dengan hasil pengamatan. Kedua nilai ini berkesesuaian sangat bagus dengan nilai misfit ~ %5.

Pendugaan dengan metode geolistrik dapat digunakan untuk menentukan posisi bidang patahan [6,7,8]. Nilai resistivity tanah/batuan pada patahan pada umumnya lebih rendah dari tanah/batuan sekitarnya. Hal ini dikarenakan pada patahan sesar terisi oleh fluida atau mineral yang relatif lebih

kondusif dari batuan sekitarnya[6]. Bidang patahan sesar biasanya memiliki nilai resistivity yang tinggi melebihi nilai resistivity tanah/batuan yang ada di sekitarnya jika pada patahan tersebut tidak terisi apa-apa (hanya berisi udara). Hal ini dikarenakan udara merupakan isolator sehingga arus listrik sangat sulit untuk melewatinya. Oleh sebab itu, bidang patahan sesar yang terdeteksi adalah bidang yang memiliki resistivity rendah yang menerobos atau memotong bidang bidang perlapisan antar batuan [9].

Penampang struktur bawah permukaan 2D merupakan hasil inversi dari metode kuadrat kecil (*least square*). Proses inversi ini digunakan untuk menggambarkan serta membagi keadaan bawah permukaan dalam bentuk penampang 2D, selain itu digunakan untuk membandingkan respon data dan respon model. Perbandingan antara respon data dan respon model dapat dilihat pada Gambar 6.

Pemodelan inversi adalah pemodelan yang dilakukan untuk merekonstruksi model bumi. Pemodelan inversi dapat dilakukan jika terlebih dahulu telah dibuat pemodelan ke depannya [10]. Penyelesaian permasalahan inversi dengan memperkirakan model parameter yang memiliki respon data (data dihitung) cocok dengan data yang diperoleh dari lapangan. Jika masih berbeda jauh antara model dengan data lapangan maka data input akan diinversi dengan iterasi tertentu sampai didapatkan model yang mirip dan cocok dengan data di lapangan. Apabila hasil pengolahan data belum mendekati garis linier, maka iterasi perlu di tambahkan maupun dengan mengubah model input. Hasil inversi akan menghasilkan gambar *inner*

iteration antara residual antara model dengan data lapangan dan roughness seperti pada Gambar 6.

Misfit hasil inversi data pengukuran dan model dapat dilihat pada Gambar 7 dimana tingkat kesamaan antara data dan model sudah mendekati garis linear atau sudah cocok dengan error kecil dari 5%. Dengan demikian hasil pengolahan penampang struktur bawah permukaan 2D dapat dipercaya secara akurat.

Selanjutnya, penampang struktur bawah permukaan 2D tersebut direkonstruksi sehingga dapat menghasilkan penampang struktur bawah permukaan 2,5D (Gambar 5) yang memberikan informasi sudut (*dip*) pergerakan sesar di segmen Musi sekitar 45°- 90°. Akan tetapi pada lintasan ke 4 resistivity kontras kurang jelas sehingga masih sulit untuk mengetahui besar sudut (*dip*) pada lintasan tersebut. Meskipun demikian penelitian ini dapat dikatakan berhasil karena sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang geometri sesar dengan tomografi 2D data seismik, namun tidak dapat menemukan keberadaan sesar [11]. Penelitian tersebut hanya menemukan lapisan sedimen saja dan belum dapat menemukan keberadaan geometri sesar.

Hasil penelitian lain yang telah dilakukan di Jepang menggunakan metode Magnetotelluric (MT) memperlihatkan beda densitas batuan yang berada di bawah permukaan yang mengakibatkan patahan [12]. Akan tetapi hasil penelitian tersebut tidak terlihat dengan signifikan sudut pergerakan sesar yang terbentuk. Sementara pada penelitian ini dapat dilihat sudut (*dip*) pergerakan sesar yang terbentuk sekitar 45°- 90° di segmen Musi (Gambar 5). Oleh karena itu untuk mendapatkan atau mengetahui sudut pergerakan sesar di bawah permukaan yang lebih jelas diperlukan metode seismik refleksi dalam dengan bentangan seismik yang lebih panjang untuk memvalidasi hasil penelitian ini.

## 5. Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian penentuan sudut pergeseran sesar di segment Musi, Sesar Sumatera dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner-Schlumberger. Dari hasil interpretasi penampang struktur bawah permukaan secara 2D melalui manifestasi nilai resistivity bawah permukaan menunjukkan bahwa besar sudut (*dip*) pergerakan sesar di segmen Musi bervariasi dari 45°- 90°. Hal ini dapat dilihat dari visualisasi 2,5D dari rekonstruksi penampang struktur bawah permukaan 2D. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa geometri sesar tidak seragam sepanjang segmen Musi pada sesar Sumatra. Namun demikian untuk melihat struktur lapisan bawah permukaan dalam rangka memvalidasi hasil penelitian ini

diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode Geofisika yang lain seperti menggunakan metode seismik refleksi di kawasan segmen Musi Kepahiang.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada tim lapangan atas bantuan yang telah dilakukan pada saat pengambilan data di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Universitas Bengkulu karena telah bersedia meminjamkan satu set alat resistivity untuk kegiatan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] Sieh, K., dan Natawidjaja, D. H., 1994. *Slip Rates Along the Sumatran Transcurrent Fault and its Tectonic Significance*. Abstract in Proceeding on Tectonic Evolution of Southeast Asia, Geol. Soc. of London, 7-8 December, p.38.
- [2] Sieh, K., dan Natawidjaja, D. H., 2000. *Neotectonics of the Sumatran Fault*, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105(B12): 28295. doi:10.1029/2000JB9000.
- [3] Ardiansyah Sabar, 2014. *Analisis Periode Ulang Gempa Bumi di Kawasan Segmen Musi*. Bengkulu. Stasiun Geofisika Kepahiang-Bengkulu.
- [4] Nuraini, 2016. *Identifikasi Slip Rate di Segmen dengan Menggunakan GPS (Global Positioning Sistem)*. Skripsi. Bengkulu. Universitas Bengkulu.
- [5] Utiya, J., As'ari, Seni HJ T., 2015. *Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Konfigurasi Dipole-dipole untuk Identifikasi Patahan Manado di Kecamatan Paaldua Kota Manado*. *Jurnal Ilmiah Sains*, Vo 15, No 2. Hal 134-141.
- [6] Cheng, P. H., Y. I. Ger, and S. L. Lee., 2008. *An electric resistivity study of the Chelungpu fault in the Taichung area, Taiwan*. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 19, 241-255, doi: 10.3319/TAO.2008.19.3.241(T)
- [7] Kiyoshi F., and Osamu I., 2000. *Resistivity structure of the central part of the Yamasaki fault studied by the multiple electrodes resistivity method*. *Earth Planets Space*, 52, 567-571
- [8] Ammar, A.I. and Kamal, K.A., 2018. *Resistivity method contribution in determining of fault zone and hydro-geophysical characteristics of carbonate aquifer, eastern desert, Egypt*. *Appl Water Sci.*, Vol 8, No 1. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0639-9>

- [9] Syamsuddin, Lantu, Altin, M., Syaeful, A., 2012. *Identifikasi Sesar Bawah Permukaan dengan Menggunakan Metoda Geolistrik Konfigurasi Wenner di Sekitar Das Jene'berang Kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan*. Positron, Vol. 2, No. 2, Hal. 33-39.
- [10] Oldenburg, D.,W., Li, Y., 1998. *3-D inversion of gravity data*. Geophysics 63, 109-119.
- [11] Putra, A., 2017. *Geometri Sesar menggunakan Metode Seismik dan Metode Geolistrik*. Skripsi. Bengkulu. Universitas Bengkulu.
- [12] Goto, Tada Noro., Yasuo W., Naoto O., and Norihiko. S., 2014. *Resistivity structure of a seismic gap along the Atotsugawa fault, Japan*. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 148(1), 55-72.