



Perbandingan Setiap Kontur Transformasi Pada Anomali Magnetik Untuk Identifikasi Sesar (Studi Kasus: Sesar Toru Pada *Great Sumatera Fault*)

Andrean V H Simanjuntak^{1)*}, Abdi Jihad²⁾

¹⁾ Stasiun Geofisika Mata Ie Banda Aceh, BMKG Provinsi Aceh

²⁾ Magister Geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

*E-mail: andreansimanjuntak@gmail.com

ABSTRACT-Toru fault is one part of the Great Sumatran Fault, which is actively moving every year. These activities cause severe damage and cause fatalities too, therefore the best step is to know and identify the fault. From there, we can learn how to mitigate before and after the earthquake. For that reason, the geophysical method is the right step to do, because the results can describe the surface and subsurface state of a region. Geomagnetic method is one of the geophysical methods that can explain the subsurface conditions in an area. This method is based on the difference of positive and negative closures, which indicates the presence of two poles, and an indication of the existence of a different layer. The data in this study were obtained from the data of CHAMP Satellite, which measures field to the distance between grid to another grid is 3.8 km. The method which used for this research is transformation techniques on magnetic field anomalies. From there, we will know the difference characteristics of each transformation. The results show that each graph on the transformation to the pole, which is given 4 lines, follows the movement of the fracture. The graph on the first line has an anomalous range of -20 nT - 80 nT. In the second line, the range of anomalies obtained ranges from -50 nT - 250 nT. On the third line, the range of anomalies obtained is about -250 nT - 150 nT. On the fourth line, the anomaly range obtained is -200 nT - 200 nT.

Keywords : *Anomaly, Earthquake, Geomagnetic, Transformation*

I. PENDAHULUAN

Patahan Besar Sumatra adalah Patahan aktif dengan panjang 1.900 km, 1.650 km berada di daratan Pulau Sumatra dan mempunyai arah dari Barat Laut sampai Tenggara, mulai dari Pulau Weh di Aceh sampai Teluk Semangko di Lampung (Katili dan Hehuwat, 1967).

Sesar Toru, salah satu segmen Patahan Sumatera, berada di wilayah Tapanuli, Selatan Danau Toba. Secara administratif, koordinat geografis Sesar Toru terletak antara 98° 42' 00" - 99° 43' 30" BT dan 1° 12' 00" LU - 2° 06' 00" LU, dengan panjang 95 km serta diapit oleh dua sesar lainnya di ujung utara dan selatan yaitu Renun dan Angkola. Sesar Toru bergerak dengan kecepatan rata-rata 20 mm/tahun, yang diukur dengan menggunakan GPS dan

pergeseran sedimen hasil produk letusan Toba 73.000 tahun silam (Sieh & Natawidjaja 2000).

1.1. Sejarah Kegempaan

Salah satu sesar yang berada pada selatan Sesar Toru, Sesar Angkola telah patah pada Desember 2006 dengan M 5,8. Sesar Renun di ujung utara, dengan panjang 220 km, sedang menunggu waktu untuk patah mengingat sudah dalam ujung siklus seismik 100-an tahun. Pada suatu batuan yang rapuh (batuan yang heterogen), stress yang dikandung tidak begitu besar karena langsung dilepaskan melalui gempa-gempa kecil (gempa mikro).

Sedangkan untuk batuan yang lebih kuat (homogen), gempa kecil jarang terjadi karena stress yang dikandung tidak langsung dilepaskan melainkan disimpan hingga pada suatu saat batuan tersebut tidak mampu lagi

menahan stress, maka terjadi pelepasan energi yang besar secara tiba – tiba ke segala arah (Simanjuntak, 2017).

Tepatnya 20 Mei 2008 lalu, bagian utara Sesar Toru dengan panjang 23 km telah patah pada tahun 1984 silam dalam Gempa Pahae Jahe dengan M 6,4, dan kembali patah tahun 2008. Kejadian perulangan yang sangat cepat sekali dimana hanya 25 tahun sudah berulang kembali, tetapi secara *elastic rebound theory* itu mungkin saja terjadi dengan pelentingan 50 cm dan kecepatan geser rata-rata 20 mm/tahun.

Gempa tahun 2008 bersumber pada kedalaman 10 km di sepanjang 23 km zona rekahannya dan menghasilkan guncangan 3 SIG yang sanggup merobohkan bangunan dan melongsorkan tebing. Selain itu, Sesar Toru menjadi salah satu objek penelitian yang potensial, karena selain seismisitas-nya terdapat juga sumber alam berupa eksplorasi geothermal yang terdapat pada kelurusan Sesaranya.

Pada zona pelurusannya, Sesar Toru memiliki potensi geothermal yang sangat melimpah dengan 43 titik lokasi geothermal dan tujuh lokasi semburan belerang. Salah satu yang terkenal yaitu Sipaholon, terletak di atas Sesar Toru dan Sarulla tepat di tengahnya, dengan sumber panas terletak antara 200 – 1400 m dibawah permukaan tanah. Temperatur antara 142 - 230°C yang dikategorikan sebagai moderate temperature, mampu menghasilkan energi listrik sebesar 300-400 Megawatt. Penerapan metode geofisika yang baik diperlukan dalam identifikasi keaktifan Sesar Toru untuk kepentingan mitigasi kebencanaan. Penyelidikan kondisi geologi dan struktur lapisannya untuk kepentingan eksplorasi geothermal.

Survei kemagnetan dipakai untuk menyelidiki dan mengeksplorasi struktur geologi bawah permukaan, yang didasari pada anomali di medan magnet bumi hasil aktivitas dari mineral magnetik pada batuan dipermukaan dan bawah permukaan bumi (mis: magnetite, pirhotit, ilmenite, dll). Survei magnetik bisa dalam berbagai macam seperti pengukuran langsung, dengan *satellite*,

aeromagnetic, dan kapal khusus riset (*marine magnetic survei*). Pada skala kecil, penerapannya digunakan untuk kepentingan arkeologi dan situs purba untuk mengetahui situs apa yang terkandung didalamnya.

Penelitian skala besar akan berurusan dengan batas-batas geologi, identifikasi keaktifan suatu sesar, eksplorasi, geothermal yang memerlukan daerah penelitian yang sangat luas dan struktur geologi yang kompleks serta umumnya memiliki kontras nilai kepekaan magnetik batuan yang menghasilkan anomali tinggi.

Data anomali belum sepenuhnya mewakili kondisi geologi wilayah penelitian. Sehingga, analisis transformasi harus dilakukan secara matematis untuk mendapatkan interpretasi kualitatif. Hasil transformasinya akan sangat berguna untuk mendapatkan suatu interpretasi dan juga dapat membantu dalam pemetaan geologi lokal (Blakely, 1995).

Peta anomali magnetik umumnya dianalisis dengan menggunakan beberapa teknik transformasi linear, seperti *derivative-based techniques*, *spectral methods* dan *inverse modeling techniques*. Studi identifikasi sesar yang dilakukan oleh Arafa (2012) di Kairo, Mesir, menerapkan perhitungan transformasi pada masing-masing komponen medan magnet. Transformasi linear dapat membantu dalam menginterpretasikan suatu struktur geologi lokal dari hasil pengukuran magnetik dan memberikan beberapa bukti tentang sifat dan sumber penyebab dari fenomena geologi setempat (Blakely, 1995).

II. METODE PENELITIAN

2.1. Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini diperoleh secara *free* dan *open acces*. Data yang diekstrak diantaranya topografi, anomali dan seismisitas yang semuanya dianalisa secara komprehensif dan akan menjelaskan profil dari Patahan Toru.

Data Topografi

Data topografi yang diperoleh dari Topex, digunakan untuk melihat kontur ketinggian patahan Toru dan perbedaan elevasi yang

menunjukkan penampakan fisis dari kelurusan patahan. Data yang diambil dalam rentang koordinat ($1^\circ - 2.2^\circ$) LU dan ($98.7^\circ - 99.7^\circ$) BT.

Data Anomali Magnet Bumi

Data anomali magnet bumi diperoleh dari observasi satelit *CHALLENGING Mini-Satellite Payload* (CHAMP)-GFZ. Model yang dipakai yaitu model EMAG2, yang merupakan data anomali terkoreksi untuk model anomali kerak bumi. EMAG2 merupakan perbaikan dari EMAG3, yang mana resolusi grid ditingkatkan dari 3 arc minute (sekitar 5,6 km) menjadi 2 arc minute (sekitar 3,8 km) dan ketinggian dikurangi dari 5 km menjadi 4 km di atas geoid. Data anomaliterkoreksi sangat membantu dalam analisa. Data tersebut digunakan untuk melakukan transformasi dan mencari nilai suseptibilitas batuan dengan *forward modelling*.

Data Seismisitas dan Seismotektonik

Data Seismisitas dan Seismotektonik didapat dari *International Seismological Centre* (ISC), digunakan untuk mengetahui aktivitas seismisitas Patahan Toru gempa yang terjadi di Patahan Toru bersifat strike-slip berarah dextral. dengan batasan ($1^\circ - 2.2^\circ$ LU) dan ($98.7^\circ - 99.7^\circ$ BT), dan magnitudo (5 – 10). Data diambil dari tahun 1910 – 2011.

2.2. Metode Geomagnetik

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika didasarkan pada pengukuran variasi intensitas magnetik di permukaan bumi yang disebabkan adanya variasi anomali benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi.

Penelitian magnetik dilakukan untuk mendapatkan data pengukuran intensitas dari medan magnetik bumi, sedangkan anomali yang didapat merupakan hasil dari medan magnetik yang diakibatkan oleh material magnetik dari kerak bumi.

Kontinuasi ke Atas (Upward Continuation)

Konsep dasar pengangkatan ke atas berasal dari teorema Green. Teorema ini menjelaskan bahwa apabila suatu fungsi H adalah harmonik, dan mempunyai turunan yang kontinu di sepanjang daerah R , maka nilai H pada suatu titik P di dalam daerah R dapat dinyatakan (Blakely, 1995):

$$H(P) = \frac{1}{4f} \int_s^{s'} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial n} - H \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r} \right) dS \quad (1)$$

Persamaan (1) menggambarkan secara dasar prinsip dari kontinuitas ke atas, dimana medan potensial dapat dihitung pada setiap titik didalam suatu daerah berdasarkan sifat medan pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut. Transformasi ini digunakan untuk mengubah medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan, seolah-olah diukur pada level permukaan lebih tinggi.

Reduksi ke Kutub

Baranov & Naudy (1964) menggambarkan metode transformasi ke kutub untuk menyederhanakan interpretasi data magnetik pada daerah lintang rendah dan menengah. Metode ini dapat mengurangi salah tahapan yang rumit pada proses interpretasi, dengan anomali medan magnetik menunjukkan langsung posisi bendanya. Formulasi yang umum sebagai hubungan antara medan potensial (f) dengan distribusi sumber (s):

$$f(P) = \int_R s(Q) \mathbb{E}(P, Q) dv \quad (2)$$

Fungsi $f(P)$ adalah medan potensial atau anomali total medan magnetik pada P , sedangkan $s(Q)$ kuantitas fisis magnetisasi pada Q dan $\mathbb{E}(P, Q)$ suatu fungsi Green berupa anomali total medan magnetik *dipole* tunggal tergantung pada geometris tempat titik observasi P dan titik distribusi sumber Q . Proses transformasi reduksi ke kutub dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal.

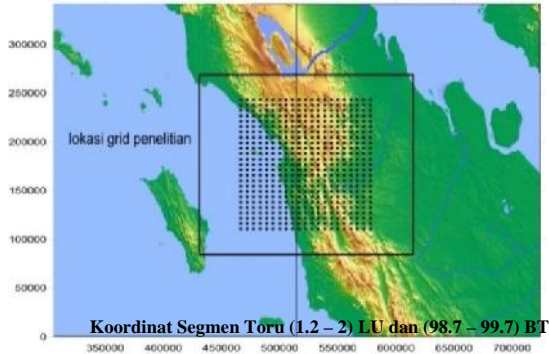
III. PEMBAHASAN

3.1. Grid Penelitian dan Seismotektonik

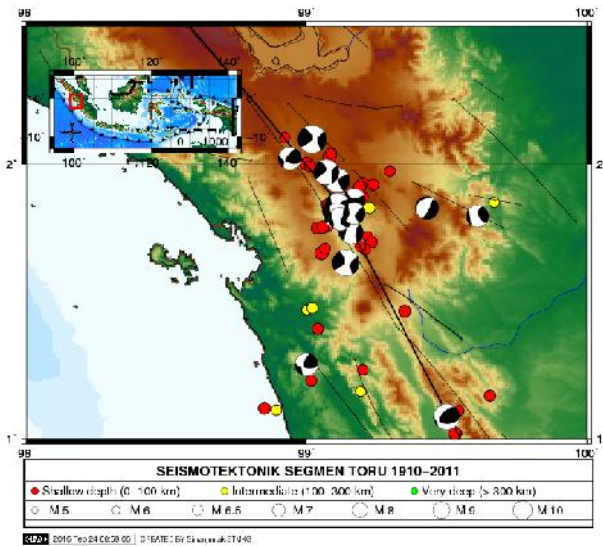
Batasan wilayah yaitu 1° LU - 2.2° LU dan 98.7° - 99.7° BT, yang nantinya dikonversi ke koordinat UTM. Dengan model EMAG2 yang mengukur setiap grid 2 arc minute \sim 3,8 km, grid penelitian diasumsikan sebanyak 525 point (21×25) mencakup semua wilayah penelitian. Grid tersebut diperlukan untuk interpolasi data anomali magnetik.

Keaktifan Sesar Toru dianalisa dengan menggunakan data gempa bumi dari katalog

gempa ISC (*International Seimological Center*) dan focal mechanism dari GlobalCMT, bertujuan untuk membuktikan bahwa gempa di Sesar Toru bersifat strike-slip berarah dekstral, dimodelkan dengan GMT pada waktu periode tertentu (1950 – 2011).



Gambar 3. Peta grid wilayah penelitian.



Gambar 4. Peta Seismotektonik Sesar Toru dengan pola *oblique* dan *strike-slip* serta sebaran Magnitudo 5- 10 dari tahun 1950-2011.

Data gempa bumi dipilih yaitu magnitudo ≥ 5 , dengan jumlah kejadian gempa yang terekam dari tahun 1910 s/d Agustus 2011 sekitar 64 kejadian, dengan rentang magnitudo berkisar antara 5 – 7 M. Pada rentang dekade ini, event yang terjadi sebanyak 2 (dua) kali gempa, yaitudengan kategori magnitudo yang sangat kuat, yaitu diatas 6.

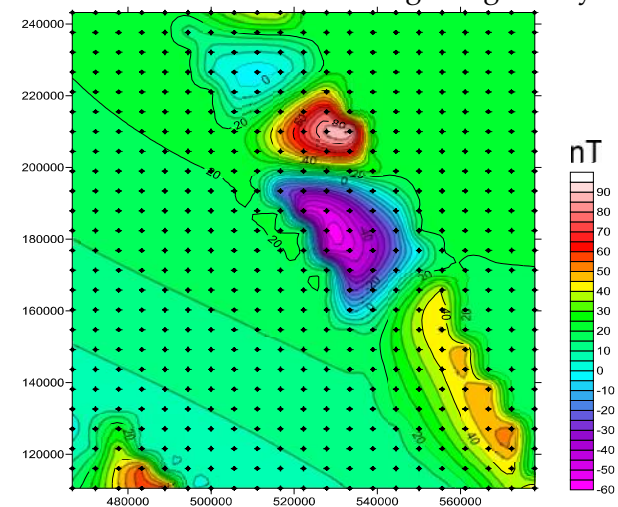
3.2. Profil Anomali Magnet

Gambar 5 merupakan profil anomali setelah data magnetik dilakukan interpolasi. Pola kontur anomali medan magnet terdiri dari pasangan klosur positif dan negatif, yang mana

menunjukkan bahwa anomali medan magnet ini bersifat *dipole* (dwi kutub). Anomali medan magnet yang diperoleh merupakan hasil gabungan medan magnet remanen dan induksi. Pengaruh remanen muncul sebagai akibat suatu bahan yang hanya dapat menghasilkan medan magnet yang bersifat sementara. Nilai anomali medan magnetik di sekitar Sesar Toru dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu :

- Kelompok anomali medan magnet tinggi dengan nilai lebih dari +70 nT
- Kelompok anomali medan magnet sedang dengan nilai 0 sampai +70 nT
- Kelompok anomali medan magnet rendah dengan nilai kurang dari 0 nT

Letak kelurusan Sesar Toru yang berbentuk diagonal mengikuti letak keberadaan anomali magnet dan terbagi menjadi 3 bagian ,bagian utara memiliki nilai rendah-tinggi, dan anomali sedang berada di tengah-tengah dan di selatan. Pengangkatan ke atas setinggi 500 m dipilih karena nilai ini sudah cukup baik dalam memisahkan anomali lokal dengan regionalnya.

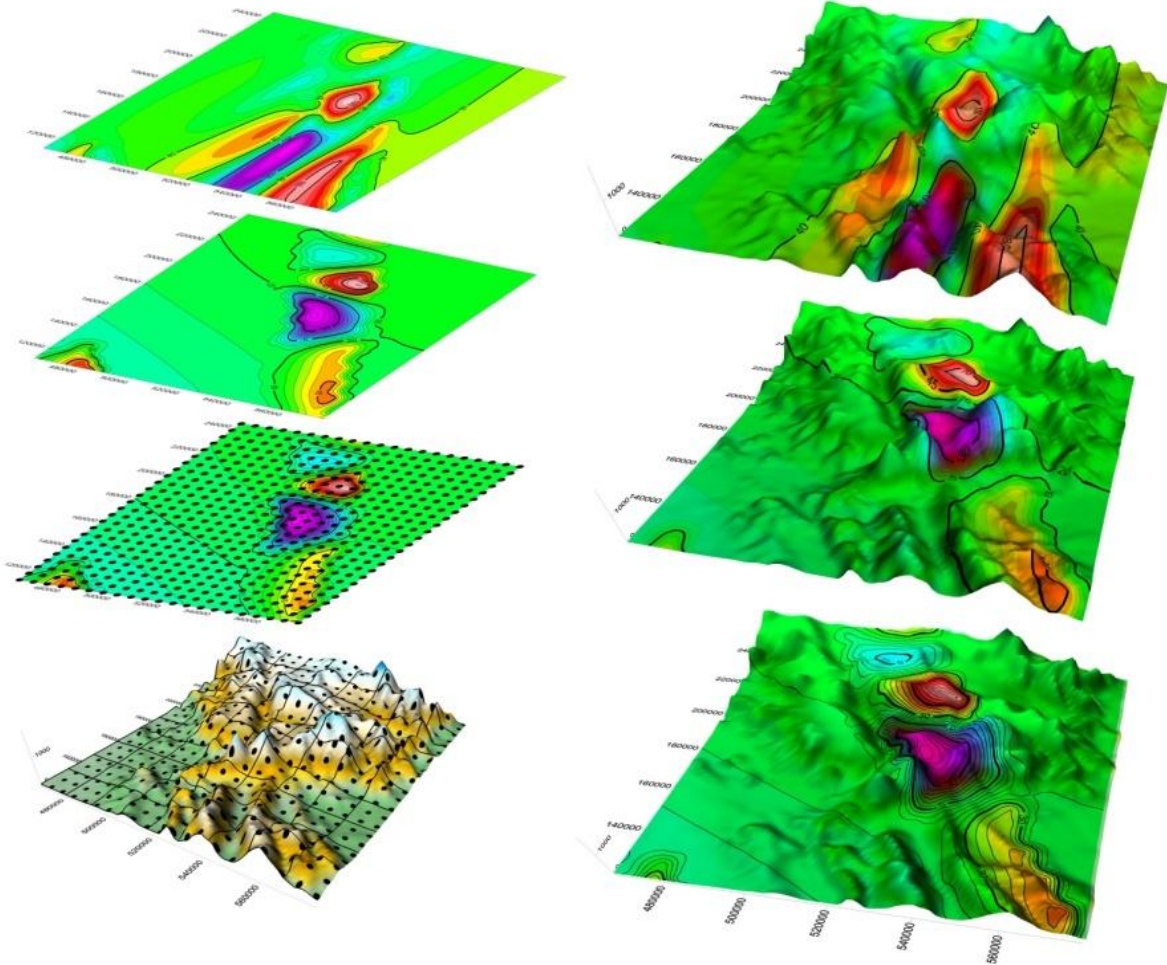


Gambar 5. Peta Anomali Magnetik dan titik grid pengukuran pada wilayah Sesar Toru

Gambar 6 menunjukkan kontur reduksi ke kutub, hasil menunjukkan anomali menjadi satu kutub (*monopole*), sehingga menggambarkan pola sumber anomali magnetik. Hal ini memudahkan dalam melakukan interpretasi secara kualitatif. Pada Gambar 6, sebelah selatan sesar toru terlihat adanya anomali rendah yang di bawahnya diduga terdapat benda penyebab anomali dan letaknya terdapat pada zona kelurusan Sesar

Toru. Pasangan klosur positif dan negatif mengindikasikan adanya struktur geologi di

bawah permukaan.



Gambar 6. Peta masing-masing kontur (anomali, kontinuasi ke atas, dan reduksi ke kutub) dibandingkan dengan struktur kelurusan permukaan Sesar Toru serta dengan grid penelitian.

Metode penarikan sayatan mengikuti struktur kelurusan dari Sesar Toru, dan ditarik dari klosur yang memiliki nilai medan magnet tinggi ke nilai medan magnet rendah. Peta kontur yang telah dilakukan pengangkatan ke atas dan kemudian di reduksi ke kutub, dioverlay dengan peta topografi dan kajian geologi.

Sebelumnya, penelitian dilakukan untuk memberikan informasi struktur geologi dan batuan penyusun serta profil permukaan pada zona kelurusan di daerah tersebut pada Gambar 6. Peta anomali reduksi ke kutub memiliki sebaran nilai anomali yang mempunyai perbedaan nilai klosur yang tegak lurus terhadap zona kelurusan Sesar Toru.

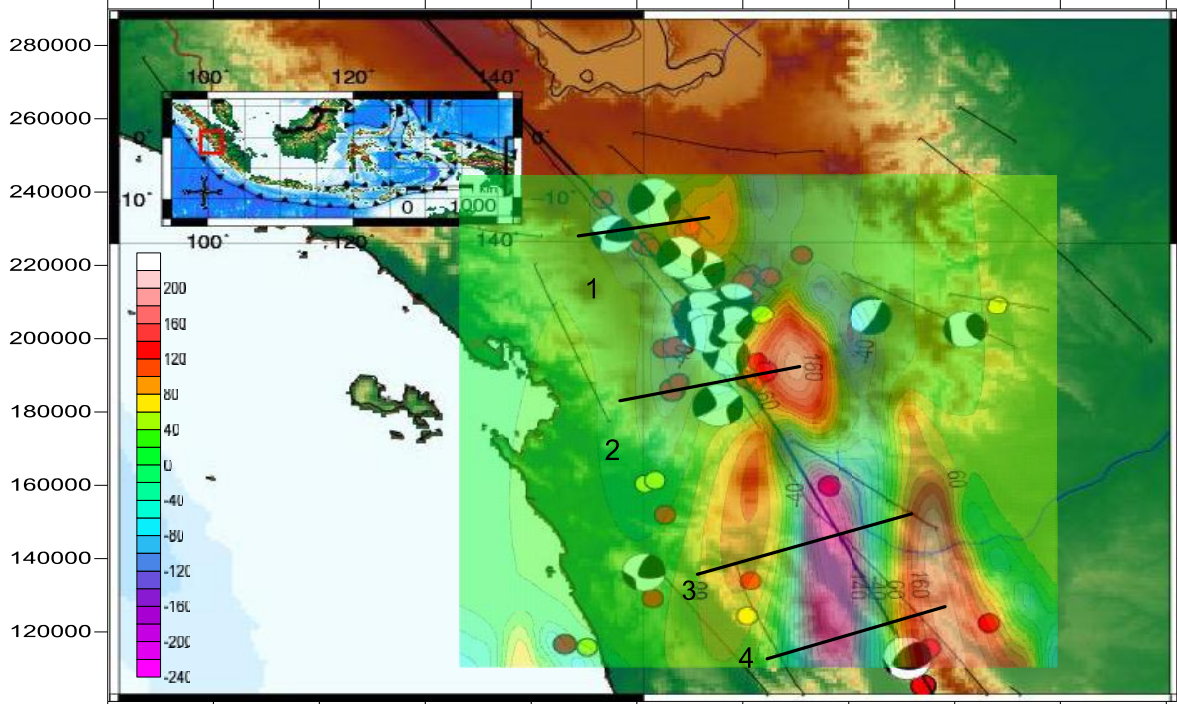
Struktur topografi menunjukkan zona kelurusan Sesar Toru berarah Barat laut-

Tenggara dan memiliki sebaran anomali lokal yang tegak lurus berarah Barat Daya-Timur Laut. Peta topografi dipakai untuk interpretasi kuantitatif yaitu dengan memasukkan nilai batuan penyusun yang ada di sesar.

Peta seismotektonik yang dioverlay menunjukkan nilai yang sesuai dengan kelurusan sesar Toru dan tersebar dengan mengikuti pergerakan dekstral pada zona kelurusan Sesar Toru. Sebaran anomali terlihat merata pada sisi kiri dan kanan yang mana mengikuti pergerakan yang dilakukan oleh sesar Toru yang bergeser mengangan.

Sebelumnya, penelitian dilakukan untuk memberikan informasi struktur geologi dan batuan penyusun serta profil permukaan pada zona kelurusan di daerah tersebut pada Gambar 7. Peta anomali reduksi ke kutub memiliki sebaran nilai anomali yang mempunyai

perbedaan nilai klosur yang tegak lurus terhadap zona kelurusan Sesar Toru.



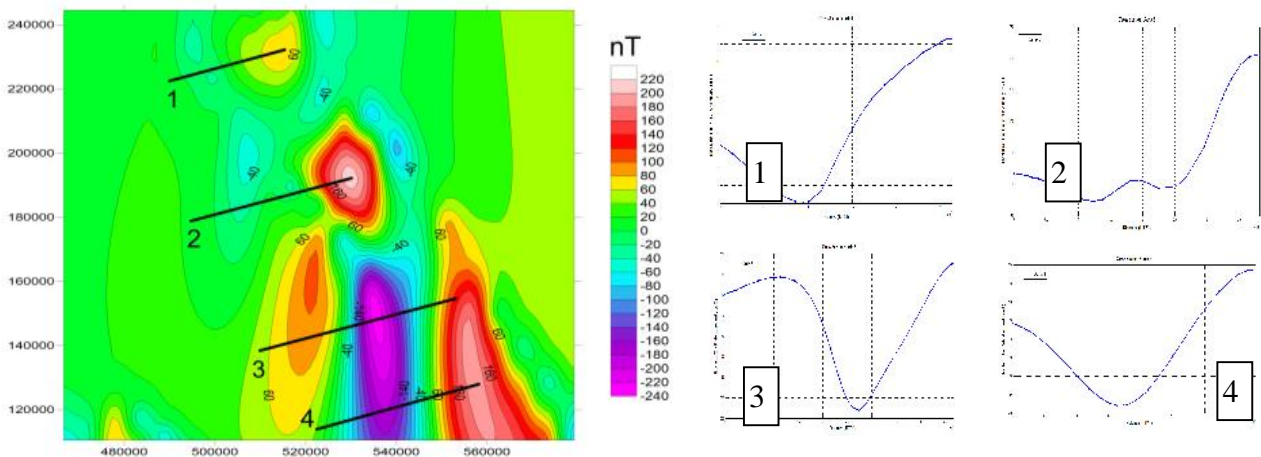
Gambar 7. Kontur reduksi ke kutub pada peta seismisitas

Struktur topografi menunjukkan zona kelurusan Sesar Toru berarah Barat laut-Tenggara dan memiliki sebaran anomali lokal yang tegak lurus berarah Barat Daya-Timur Laut. Peta topografi dipakai untuk interpretasi kuantitatif yaitu dengan memasukkan nilai batuan penyusun yang ada di sesar.

Peta seismotektonik yang di overlay dengan menunjukkan nilai yang sesuai dengan

kelurusan sesar Toru dan tersebar dengan mengikuti pergerakan dekstral pada zona kelurusan Sesar Toru.

Sebaran anomali terlihat merata pada sisi kiri dan kanan yang mana mengikuti pergerakan yang dilakukan oleh sesar Toru yang bergeser menganan. Profil dari sayatan dan juga grafik yang telah dibuat peta reduksi ke kutub dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta Reduksi Ke Kutub setelah kelurusan sesar dipotong tegak lurus dengan garis cross section yang dibuat.

Hasil reduksi ke kutub memperlihatkan perbedaan grafik, yang mana dipengaruhi oleh anomali yang didapatkan dari transformasi reduksi ke kutub. Pada grafik, nilai yang

bernilai rendah merupakan letak dari kelurusan sesar. Grafik ini membuktikan bahwa terjadi sebaran batuan yang mengikuti pergerakan geser menganan (dekstral). Grafik yang

diperoleh membuktikan adanya perbedaan nilai akibat pergerakan dari sesar, sehingga batuan yang sebelumnya segaris dan memiliki keragaman nilai anomali magnetik menjadi berubah posisi dan berbentuk diagonal.

Grafik pada garis pertama memiliki rentang anomali sebesar -20 nT – 80 nT. Pada garis kedua, rentang anomali yang didapatkan berkisar antara -50 nT – 250 nT. Pada garis ketiga, rentang anomali yang diperoleh yaitu berkisar -250 nT – 150 nT. Pada garis keempat, rentang anomaly yang diperoleh yaitu -200 nT – 200 nT.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari studi penelitian yang telah dilakukan pada zona kelurusan Sesar Toru telah diperoleh, maka kesimpulan yang bisa ditarik antara lain :

1. Interpretasi kualitatif pada anomaly reduksi ke kutub ditandai dengan hasil pemodelan yang menunjukkan adanya grafik pasangan klosur positif dan negatif yang mengikuti pergerakan sesar.
2. Studi geomagnet pada penelitian ini bisa dilanjutkan dengan metode forward ataupun inversi sebagai pendukung dalam mengkarakteristikan struktur tektonik dan geologi Sesar Toru.

V. DAFTAR PUSTAKA

Araffa S. A. S., Santos F. A. M. , Hamed A.T., 2012. Delineating active faults by using integrated geophysical data at northeastern part of Cairo, Egypt, NRIAG. *Journal of Astronomy and Geophysics, Turkey*, 1 (1), 33-34.

Baranov dan Naudy, H. 1964. Numerical Calculation of The Formula Of Reduction To The Magnetic Pole. *Geophysics* 53, 1592-1600.

Blakely, R. J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*, Cambridge: University Press.

Haryono, A., 2002, *Pemodelan Regional di Daerah Gunungapi Ungaran menggunakan Data Anomali Medan Magnetik Reduksi ke Kutub*, Tesis, FMIPA, UGM. Yogyakarta

Hickman, R.G, Dobson, P.F., van Gerven, M., Sagala, B.D., Gunderson, R.P., 2004. Tectonics and stratigraphic evolution of the Sarulla graben area, North Sumatra, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23, 435-448.

Ismail, N.,2001. *Interpretasi Data Anomali medan Magnetik Total Reduksi ke Kutub untuk Pemodelan Regional di Daerah Gunung Merapi-Merbabu*, Tesis, FMIPA, UGM.

Katili, J. A., dan Hehuwat, F., 1967. On The Occurrence of Large Transcurrent Faults in Sumatera, Indonesia, *Journal Of Geoscience*, 10(1).

Katili, J.A., 1971. A review of geotectonic theories and tectonic map of Indonesia. *Earth Science Reviews* 7, 143-163.

Natawidjaja, D. H. 2003. *Neotectonics of the Sumatran Fault and paleogeodesy of the Sumatran subduction zone*, thesis, Calif. Inst. of Technol., Pasadena.

Nukman, M. Moeck, I., 2013. Structural controls on a geothermal system in the Tarutung Basin, north central Sumatra. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74, 86-96.

Sieh, K., Natawidjadja, D., 2000. Neotectonics of the Sumatra Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105, 28,295 – 28,326.

Simanjuntak, A.V.H & Olymphina, O. 2017. Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama dan Susulan (Studi Kasus: Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa), *Jurnal Fisika FLUX*, 14 (1), 19-26.

Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sherrif, R. E., 1990. *Applied Geophysics 2nd edition*, London: Cambridge University Press.

Zubaidah T., 2010. *Spatio-temporal characteristics of the geomagnetic field over the Lombok Island, the Lesser Sunda Islands region: New geological, tectonic, and seismo-electromagnetic insights along the Sunda-Banda Arcs transition*, Disertasi, eingereicht an der Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam, Postdam.