

DOI: doi.org/10.21009/0305020415

IDENTIFIKASI PATAHAN MIKRO PENYEBAB GEMPA BUMI TARAKAN 21 DESEMBER 2015

Sesar Prabu Dwi Sriyanto^{*}), Indri Ifantyana

Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika,
Jl. Perhubungan 1 no. 5, Pondok Betung, Pondok Aren, Tangerang Selatan, Kode Pos 15221
Email: ^{*}sesardwis@gmail.com

Abstrak

Selama ini, pulau Kalimantan diklaim sebagai satu-satunya daratan luas di Indonesia yang relatif aman terhadap guncangan gempa bumi. Namun, pada 21 Desember 2015 pukul 01:47:37 WIB, gempa bumi kuat (M 6.1) dengan kedalaman 16 km telah mengguncang wilayah Tarakan hingga terasa dengan skala intensitas MMI 5. Pada penelitian ini dilakukan identifikasi pola patahan mikro yang diduga menjadi pemicu gempa bumi Tarakan pada 21 Desember 2015 menggunakan data medan gravitasi bumi, sebaran episenter gempa bumi, dan mekanisme fokal gempa. Data medan gravitasi bumi dari satelit topex difilter untuk mendapatkan anomali residualnya dengan metode SVD (*second Vertical Derivative*) menggunakan operator matriks Elkins. Hasil analisis parameter gempa bumi Tarakan 21 Desember 2016 berupa mekanisme fokal dari Global CMT dan sebaran episenter gempa susulan dari BMKG juga diperhitungkan dalam penentuan pola patahan. Dari gabungan ketiga jenis data tersebut didapat bahwa patahan mikro yang menyebabkan gempa bumi Tarakan 21 Desember 2015 berada di sebelah timur Pulau Tarakan dengan arah jurus sesar utara-selatan dan tipe patahan oblique (dominasi sesar mendatar) sebagai kemenerusan sesar besar Palukoro.

Kata-kata kunci: *patahan mikro, medan gravitasi bumi, sebaran episenter, mekanisme fokal*

Abstract

During this time, Borneo island is claimed to be the only island area in Indonesia that relatively safe from earthquake hazard. However, on December 21, 2015 at 01:47:37 am, a big earthquake (Mw 6.1) with a depth of 16 km happened in the Tarakan region. The earthquake shaking was felt by people on 5 MMI intensity scale. In this study, the identification of patterns of micro fracture that triggering Tarakan earthquakes is using the data of earth's gravitational field, distribution of the earthquake epicenter and focal mechanism of the earthquake. The earth's gravitational field data is get from the Topex satellite that filtered to obtain residual anomaly with SVD method (*Second Vertical Derivative*) using Elkins matrix operator. The results of the analysis of Tarakan earthquake parameters in the form of Global CMT focal mechanism and the aftershocks distribution from BMKG database also taken into account in the determination of fracture patterns. From the combination of three types of data we conclude that micro fracture that triggering Tarakan earthquakes on December 21, 2015 is located in the eastern island of Tarakan with moves towards the north-south fault and the type of fracture oblique (the dominance of horizontal fault) as the continuity of Palukoro fault

Keywords: *micro fracture, earth's gravitational field, epicenter distribution, focal mechanism..*

1. Pendahuluan

Kondisi Indonesia yang dilalui tiga lempeng tektonik utama (lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik) dan lempeng mikro Filipina menyebabkan sebagian wilayah yang berada di dekat zona pertemuan lempeng-lempeng tersebut tak jarang merasakan aktivitas gempa bumi tektonik. Satu-satunya pulau yang relatif aman terhadap aktivitas gempa bumi tektonik adalah Pulau Kalimantan. Namun, pada hari Senin, 21 Desember 2015, pukul 01:47:37 WIB masyarakat dikejutkan dengan guncangan gempa bumi yang cukup kuat hingga skala intensitas MMI 5. Gempa bumi dengan magnitude Mw 6.1 ini berpusat di koordinat 3.61 LU-117.67 BT

tepatnya 29 kilometer arah timur laut dari Tarakan, Kalimantan Utara dengan kedalaman 16 km. Selama ini, penelitian tentang kebencanaan di wilayah Tarakan masih sangat jarang karena memang frekuensi kejadian bencana alam kebumihannya khususnya gempa bumi cukup minim di daerah ini. Penelitian yang marak dan berkembang adalah kajian tentang potensi sumber daya alam. Penelitian-penelitian tersebut terfokus pada daerah Cekungan Tarakan yang kaya akan bahan tambang seperti batu bara dan minyak bumi. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pola jalur dan struktur patahan mikro (*micro fracture*) yang berada di daerah Tarakan, yang diduga menjadi pemicu gempa bumi pada 21 Desember 2015. Dengan adanya penelitian

ini diharapkan penelitian tentang tektonik aktif di Kalimantan dapat ditingkatkan karena banyak kota-kota yang mulai berkembang sehingga sangat penting dikembangkan kajian untuk mitigasi bencana khususnya gempa bumi.

Kondisi Geologi dan Tektonik Cekungan Tarakan



Gambar 1. Cekungan Tarakan (sumber: Core-Lab G&G Evaluation Simenggaris Block).

Struktur utama Cekungan Tarakan adalah lipatan dan sesar yang umumnya berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Terdapat pola deformasi struktur yang meningkat ke bagian utara cekungan. Struktur-struktur di Sub-cekungan Muara dan Berau mengalami sedikit deformasi, sementara di Sub-cekungan Tarakan dan Tidung lebih intensif terganggu (Ahmad dkk, 1984).

Sub-cekungan Berau dan Muara didominasi oleh struktur struktur regangan yang terbentuk oleh aktifitas tektonik semasa Paleogen, sementara intensitas struktur di Sub-cekungan Tarakan dan Tidung berkembang oleh pengaruh berhentinya perengangan di Laut Sulawesi yang diikuti oleh aktifitas sesar-sesar mendatar di fasa akhir tektonik Tarakan (Fraser dan Ichram, 1999).

Pada Cekungan Tarakan terdapat 3 *sinistral wrench fault* (sesar geser mengiri) yang saling sejajar dan berarah barat laut-tenggara, yaitu:

1. Sesar Semporna yaitu sesar mendatar yang berada di bagian paling utara, memisahkan kompleks vulkanik Semenanjung Semporna dengan sedimen neogen di Pulau Sebatik.
2. Sesar Maratua sebagai zona kompleks transpresional membentuk batas Subcekungan Tarakan dan Muara.
3. Sesar Mangkalihat Peninsula, yang merupakan batas sebelah selatan Sub-Cekungan Muara bertepatan dengan garis pantai utara Semenanjung Mangkalihat dan merupakan kemenerusan dari Sesar Palu-Koro di Sulawesi.

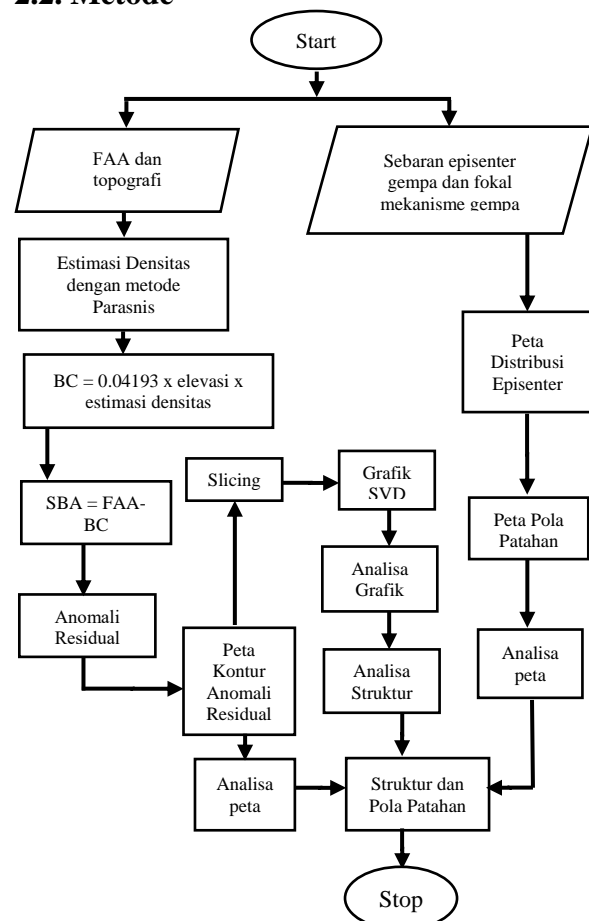
2. Metode Penelitian

2.1. Data

Data pertama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gaya berat yang didownload dari website topex (http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi). Posisi geografis wilayah penelitian berada pada 2.5⁰-4.5⁰ LU dan 116.5⁰-118.5⁰ BT. Topex adalah suatu satelit Geodesi untuk penelitian yang diluncurkan oleh NASA. Ada dua data yang didapat dari topex, yaitu data topografi dan data medan gravitasi. Data medan gravitasi yang diperoleh sudah berupa data FAA (*Free Air Anomaly*), dimana telah mengalami koreksi pasang surut bumi, koreksi lintang, dan koreksi udara bebas.

Data kedua yaitu data sebaran episenter gempa bumi pada kurun waktu 21 Desember 2015 hingga 25 Desember 2015 dengan lokasi 2.5⁰-4.5⁰ LU dan 116.5⁰-118.5⁰ BT yang diperoleh dari BMKG. Total ada 33 kejadian gempa bumi dengan rentang magnitude antara 6.1 – 3.1.

2.2. Metode



Gambar 2. Diagram alir pengolahan data

Data FAA yang diperoleh dari topex diolah dalam Microsoft excel. Data tersebut dikoreksi dengan menggunakan *Bouger Corection* (BC) sehingga didapatkan nilai *Simple Bouger Anomaly* (SBA). BC adalah koreksi karena adanya kelebihan masa antara

tempat pengukuran dengan bidang referensi. Koreksi Bouger berfungsi untuk menghitung efek tarikan massa diantara tempat pengukuran dan bidang referensi.

$$BC = 0.0419 \times \rho \times \text{Elevasi} \quad (1)$$

Untuk mendapatkan *Bouger Correction*, dibutuhkan estimasi densitas (ρ) batuan bawah permukaan yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan metode paransis. Estimasi dalam metode Paransis diturunkan dari anomali gaya berat. Ekstraksi hubungan persamaan yang mengandung unsur ρ dan membentuk pola regresi linear $y = mx+c$. Dimana y dan x adalah koordinat ketinggian dan nilai gravitasi yang terukur. Nilai densitas permukaan merupakan gradien (m) dari grafik tersebut. Selanjutnya nilai SBA didapat dari FAA yang dikoreksi menggunakan *Bouger Correction*

$$SBA = FAA - BC \quad (2)$$

Setelah didapat nilai SBA selanjutnya dilakukan pemetaan nilai SBA daerah penelitian menggunakan software *surfer*. Tahap berikutnya adalah melakukan pemisahan anomali regional dan residual yang tujuannya untuk melihat lebih jelas struktur patahan dari anomali residual. Untuk memisahkan anomali regional dan anomali residual digunakan metode *Second Vertical Derivative* (SVD) yang dapat dilakukan dengan filter operasi Matrix Elkins. SVD bersifat sebagai *high pass filter*, sehingga dapat meloloskan data anomali frekuensi tinggi yang menggambarkan anomali residual. Anomali residual ini berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi patahan turun atau patahan naik. Persamaan dasar yang digunakan dalam perhitungan SVD didasarkan pada persamaan laplaces untuk medan gaya berat.

Persamaan laplaces:

$$\nabla^2 \Delta g(x, y, z) = 0 \quad (3) \text{ Atau}$$

$$\frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial z^2} = 0 \quad (4)$$

Selanjutnya SVD anomali Bouger

$$\frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial z^2} = - \left(\frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

SVD diturunkan dari minus *Second Horizontal Derivative*, dapat dihitung melalui konvolusi.

$$\frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial z^2} = -\Delta g(x, y, z) \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 \Delta g(x,y,z)}{\partial z^2} = -\Delta g(x, y, z) * SVD \quad (7)$$

Tabel 1. Operator matriks Elkins (1951) (5x5) sebagai filter SVD

0	-0.0833	0	-0.0833	0
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0	-0.0334	1.0668	-0.0334	0
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0	-0.0833	0	-0.0833	0

Metode SVD dapat digunakan untuk membantu interpretasi jenis struktur terhadap data anomali yang diakibatkan oleh adanya struktur sesar turun atau sesar naik. Untuk suatu penampang (1-D), anomali SVD diberikan oleh

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \Delta g}{\partial x} \right) \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, tampak bahwa untuk suatu penampang (1-D), anomali SVD dapat dihitung dari turunan satu kali terhadap data *first horizontal derivative* atau FHD. Sedangkan kriteria untuk menentukan jenis struktur sesar adalah sebagai berikut,

Untuk patahan turun :

$$\left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z} \right|_{min} < \left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z} \right|_{max}$$

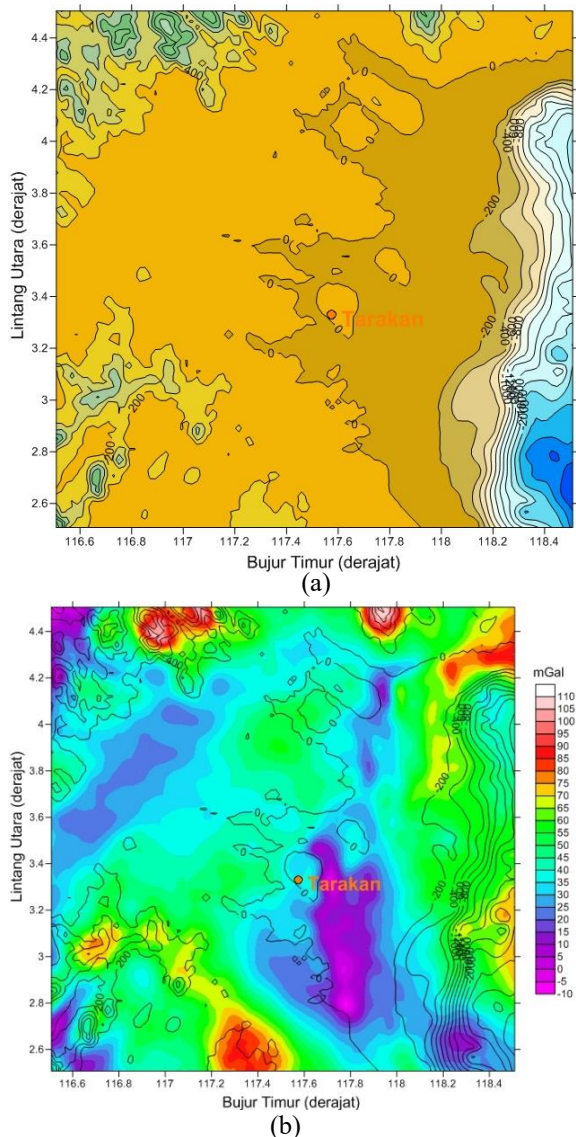
Untuk patahan naik :

$$\left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z} \right|_{min} > \left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z} \right|_{max}$$

Hasil pengolahan dan analisa pola jalur dan struktur patahan dari data anomali gravitasi selanjutnya digabungkan dengan plotting data sebaran 33 episenter gempa bumi susulan yang terjadi di wilayah Tarakan pada kurun waktu 21 Desember 2015 hingga 25 Desember 2015. Menurut A. Wirma Sari, dkk (2012) gempa susulan adalah gempa bumi yang terjadi di wilayah yang sama dengan gempa utama tetapi memiliki magnitudo yang lebih kecil. Sehingga dari pemetaan episenter gempa utama dan gempa-gempa susulan dapat dilakukan identifikasi pola patahan yang ada. Hal ini dilakukan untuk melihat kecocokan antara dugaan pola patahan dari data anomali gravitasi dengan posisi episenter gempa bumi yang terjadi. Selanjutnya dianalisis pula mekanisme sumber gempa dari fokal mekanisme gempa bumi utama yang dihasilkan oleh Global CMT untuk mengetahui mekanisme sumber gempa bumi Tarakan 21 Desember 2015 yang juga dapat digunakan untuk melihat struktur patahan mikro daerah tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan
3.1 Anomali Medan Gravitasi Bumi

Anomali Bouguer sederhana (*Simple Bouguer Anomaly*) hasil pengolahan data anomali udara bebas (FAA) dan data topografi berdasarkan citra satelit TOPEX dipetakan dengan menggunakan software *Surfer*. Nilai SBA yang telah didapatkan menggambarkan kondisi struktur bawah permukaan berdasarkan perbedaan densitas batuan. Variasi nilai SBA pada kontur berikut digambarkan dengan perubahan warna kontur yang berkisar antara -10 hingga 110 mgal. Kontur topografi dan sebaran nilai anomali Bouguer daerah penelitian ditampilkan pada gambar berikut.

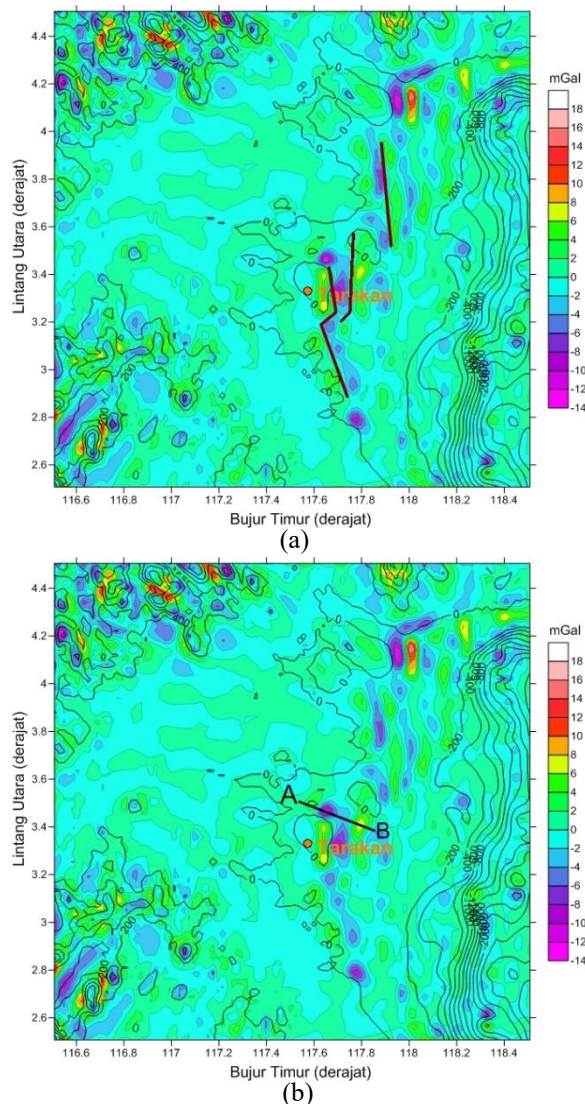


Gambar 3. (a) Peta topografi cekungan Tarakan dan (b) Peta SBA cekungan tarakan dengan garis hitam merupakan kontur topografi

Dari hasil pemetaan SBA wilayah tarakan didapatkan nilai anomali Bouguer yang kompleks. Anomali Bouguer rendah berada di perairan dangkal sebelah tenggara kota Tarakan dan di daerah pegunungan Kuching barat Tarakan. Anomali Bouguer tinggi ada di beberapa titik, yaitu di selatan

tarakan yang merupakan daerah sub cekungan Berau, di wilayah pegunungan Kuching utara, dan di daerah tinggian Sampoerna.

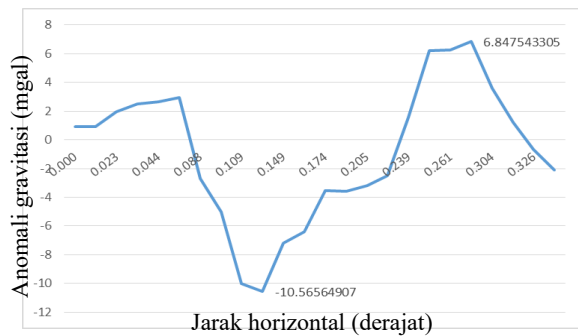
Pemisahan anomali regional-residual SBA dilakukan dengan menggunakan metode SVD yang menggunakan operator Elkins, hasilnya didapatkan anomali yang menggambarkan densitas batuan dekat permukaan (anomali residual).



Gambar 4. Anomali residual hasil filter SVD, (a) Garis warna coklat sebagai dugaan patahan mikro yang secara umum berarah utara-selatan, (b) sedangkan garis warna hitam A-B dilakukan sayatan melintang untuk melihat profil 2D.

Anomali residual pada Gambar 4a menunjukkan adanya dipole yang dapat diidentifikasi sebagai keberadaan sesar/patahan mikro. Menurut Nurwidyanto (2011) letak posisi sesar secara umum berada diantara nilai gravitasi minimum dan maksimum pada pertengahannya. Dipole anomali ini diindikasikan akibat adanya pertemuan antar struktur batuan dengan respon yang cukup signifikan pada

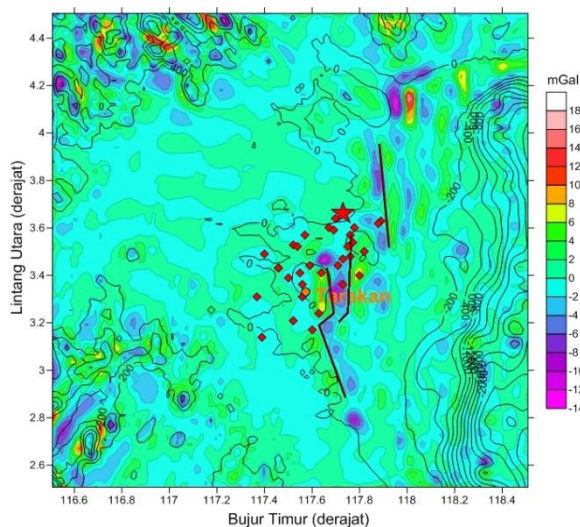
perbatasan kontak struktur atau pada zona sesarnya. Berdasarkan dipole anomali ini maka dapat dilihat bahwa terdapat jalur patahan yang secara umum berarah utara-selatan di sebelah timur dan selatan pulau Tarakan. Selanjutnya dilakukan sayatan melintang pada garis A-B yang tegak lurus dengan dugaan pola patahan mikro. Anomali residual maksimum pada irisan vertikal garis A-B memiliki nilai 6.847543305 mgal. Sedangkan nilai anomali residual minimumnya bernilai -10.56564907 mgal. Nilai absolut maksimum anomali residual ini relatif lebih kecil daripada nilai absolut minimumnya. Hal ini menandakan bahwa pada garis A-B terdapat patahan dengan tipe *thrust fault* atau patahan naik.



Gambar 5. Grafik nilai SVD pada irisan vertikal garis A-B

3.2 Episenter dan fokal mekanisme gempa bumi

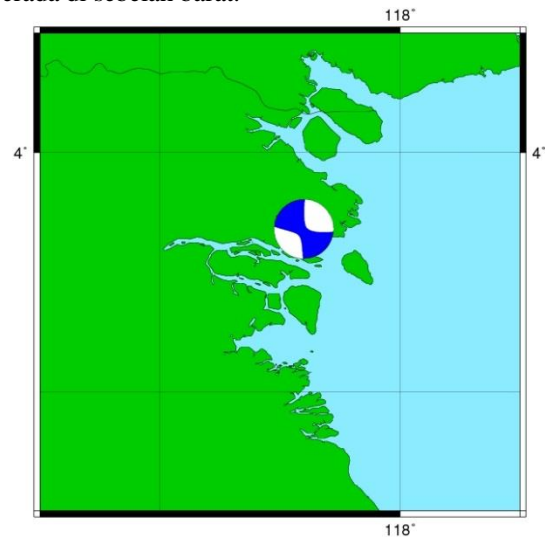
Kejadian gempa bumi pada 21 Desember 2015 yang lalu memiliki kekuatan M 6.1 yang juga disertai gempa bumi susulannya. Pada gambar 6 ditunjukkan sebaran episenter gempa bumi yang memiliki magnitude berkisar antara 3.1-6.1. Gempa ini terjadi pada rentang 21 Desember 2015 hingga 25 Desember 2015.



Gambar 6. Sebaran episenter gempa bumi sekitar Tarakan, dengan gambar bintang merupakan

episenter gempa bumi utama 21 Desember 2015 M 6.1. Garis coklat merupakan dugaan jalur sesar berdasarkan data anomali gravitasi.

Sebaran episenter gempa bumi susulan tersebar sebagian besar di sebelah selatan gempa utama. Tidak semua episenter gempa susulan terletak segaris dengan gempa utama. Hal ini mengindikasikan adanya aktifitas patahan mikro lain yang dipicu gempa utama M6.1 tersebut. Dugaan sesar berdasarkan nilai anomali medan gravitasi selaras dengan fokal mekanisme gempa bumi 21 Desember 2015. Fokal mekanisme gempa bumi 21 Desember 2015 yang dihasilkan oleh Global CMT dengan arah strike 183° , dip 88° , dan rake -172° . Hal ini menunjukkan bahwa gempa bumi 21 Desember 2016 merupakan sesar oblique yang didominasi sesar mendatar dengan sedikit sesar turun, sedangkan jurus sesar berarah utara-selatan dengan *hanging wall* berada di sebelah barat.



Gambar 7. Fokal mekanisme gempa bumi 21 Desember 2016 (sumber: Global CMT)

Kombinasi dari ketiga data menunjukkan kesamaan pada pola jalur patahan mikro penyebab gempa bumi tanggal 21 Desember 2015. Patahan tersebut terletak di sebelah timur Pulau Tarakan tertutupi oleh sedimen pantai sehingga tidak dapat dilihat kenampakannya dari peta kontur topografi atau peta kontur SBA. Jalur patahan mikro ini berarah utara-selatan sebagai terusan dari sesar Maratua yang melintas di selatan Pulau Tarakan berarah barat laut-tenggara.

Pada analisis struktur patahan dari data gravitasi didapat jenis patahan naik dengan selisih nilai absolut maksimum dan minimumnya adalah 3.72 mgal. Sedangkan dari fokal mekanisme gempa didapatkan hasil bahwa terjadi gempa dengan tipe sesar oblique dengan dominasi sesar mendatar dekstral (menganan) (strike 183° , dip 88° , rake -172°). Perbedaan ini didapat karena dalam pengambilan data penampang vertikal data gravitasi tidak tepat melewati episenter

gempa melainkan berada di sebelah selatan episenter karena ditunjukkan untuk melihat nilai dipole maksimal pada jalur patahan tersebut.

Dari pola sebaran gempa bumi susulan didapat bahwa gempa bumi susulan yang terjadi antara tanggal 21 – 25 Desember 2015 terkonsentrasi di sebelah selatan posisi episenter gempa bumi utama sehingga dapat disimpulkan bahwa slip gempa bumi ini bergerak dari titik episenter gempa utama ke arah selatan yang ditunjukkan adanya gempa-gempa mikro di sepanjang dugaan sesar.

www.repogempa.bmkg.go.id (diakses tanggal 6 Januari 2016)

http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi (diakses tanggal 18 Februari 2016)

<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html> (diakses tanggal 14 Maret 2016)

4. Simpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kejadian gempa bumi Tarakan tanggal 21 Desember 2015 dengan magnitudo 6.1 disebabkan oleh patahan mikro (*micro fracture*) yang berada di sebelah timur dan selatan Pulau Tarakan dengan arah jurus sesar utara-selatan dan tipe patahan oblique (dominasi sesar mendatar) sebagai kemenerusan sesar besar Palukoro.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada TOPEX, Global CMT, dan BMKG atas data yang diberikan. Selanjutnya kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Acuan

- Achmad Z., and Samuel L., 1984, *Stratigraphy and Depositional Cycles in the NE. Kalimantan Basin*, Proceed. Indon. Petrol. Assoc.13th Ann. Conv. pp 109-120.
- Fraser, T. H. dan Ichram, L. O. 1999. *Significance to the Celebes Sea Spreading Center to the Paleogene Petroleum Systems of the SE Snda Margin, Central Indonesia*. Proceedings of Indonesian Petroleum Association 27th Convention, Jakarta, 431-441.
- Sari, A. Wirma, Jasruddin, Nasrul Ihsan. *Analisis Rekahan Gempa Bumi Dan Gempa Bumi Susulan Dengan Menggunakan Metode Omori*. Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika. Jilid 8, Nomor 3, Desember 2012, hal 263 – 268
- Nurwidiyanto Irham. Kirbani Sri Brotpuspito. Waluyo. Sismanto.2011.*Study Pendahuluan Sesar Opak Dengan Metode Gravity (Study Kasus Daerah Sekitar Kecamatan Pleret Bantul)*. Jurnal Berkala Fisika, 14(1):11-16. Yogyakarta. UGM
- Ali, Yusuf haidar., Ali Azimi, Anita Wulandari. 2015. *Pemetaan Sesar Nusa Laut Berdasarkan Hiposenter Gempa Bumi Nusa Laut Agustus – September 2015 Dan Data Gravitasi*. Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya, hal.11-18, Jatinangor. Unpad