

**PREDIKSI GEMPABUMI JEPANG 11 MARET 2011
OLEH DETEKTOR ATROPATENA-ID (STASIUN YOGYAKARTA)**

*THE MARCH 11, 2011 JAPAN EARTHQUAKE PREDICTION
BY DETECTOR ATROPATENA-ID (YOGYAKARTA STATION)*

Wahyudi

*Lab. Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Sekip Utara, Kotak Pos BLS 21, Yogyakarta 55281
E-mail: pwahyudi2002@yahoo.com*

ABSTRAK

Perubahan medan gravitasi frekuensi rendah yang timbul sebelum terjadinya gempabumi kuat dapat dideteksi dengan alat Atropatena. Prinsip kerja Atropatena mirip dengan Torsion Balance pada Eksperimen Cavendish. Detektor Atropatena mencatat secara simultan dan kontinu variasi medan gravitasi dalam tiga komponen, yaitu satu komponen vertikal (Z) dan dua komponen horizontal (X dan Y). Pada bulan Agustus 2009, stasiun Atropatena-ID telah dipasang di Yogyakarta. Stasiun Atropatena bekerja dalam bentuk jaringan, di bawah koordinasi GNFE (Global Network for the Forecasting of Earthquakes) yang berpusat di Istanbul, Turki. Pada saat ini di seluruh dunia terdapat 5 stasiun Atropatena, yaitu di Azerbaijan, Pakistan, Turki, Indonesia, dan Ukraina. Sampai dengan saat ini, jaringan stasiun Atropatena telah berhasil memprediksi lebih dari 50% gempabumi kuat di seluruh dunia, termasuk gempabumi Jepang (8,9 SR) yang terjadi pada tanggal 11 Maret 2011.

Kata kunci: gempabumi, prediksi, medan gravitasi.

ABSTRACT

The low frequency three-dimensional changes of gravitational field before strong earthquakes are detected by a device called Atropatena. Atropatena uses the physical principle of Cavendish Torsion Balance. Detector Atropatena simultaneously registered time variations of gravitational field in two mutually perpendicular directions (horizontal components, X and Y) and variations of gravity D_g (vertical component, Z). The atropatena-ID has been installed in Yogyakarta since August 2009. Atropatena works under the world wide station network which are coordinated by GNFE (Global Network for the Forecasting of Earthquakes), based in Istanbul, Turkey. Five stations of Atropatena are now established in Azerbaijan, Pakistan, Turkey, Indonesia, and Ukraine. Up to now, Atropatena station network has successfully predicted more than 50% of strong earthquakes around the world, including Japan earthquake (8.9 magnitude) that occurred on March 11, 2011.

Keyword: earthquake, prediction, gravitational field.

Naskah masuk : 2 Oktober 2011
Naskah diterima : 11 Desember 2011

1. PENDAHULUAN

Selama seratus tahun sejarah peramalan gempa bumi, peran seismologi tidak bisa dikesampingkan, karena tidak hanya menyimpan informasi yang luas tentang berbagai pertanda gempa bumi, melainkan juga menciptakan jaringan-jaringan lokal dari titik-titik pemantauan dengan parameter yang berbeda-beda pada berbagai medium geologi di sekitar zona sumber gempa bumi. Namun demikian, sampai dengan saat ini para ahli seismologi belum membuahkan hasil yang memuaskan dalam memprediksi terjadinya gempa bumi.

Geller¹⁾ seorang ahli seismologi mengatakan bahwa pada prinsipnya gempabumi tidak dapat diprediksi. Geller berpendapat bahwa dalam proses persiapan akan terjadinya gempabumi, pada sumber akan mengalami keadaan yang *random* (acak), dengan berbagai pengaruh dari luar. Hal inilah yang menyebabkan adanya pesimistis dari para ahli gempabumi untuk meneliti prekursor (tanda-tanda) terjadinya gempabumi.

Namun dalam sepuluh tahun terakhir, pernyataan Geller di atas mulai mendapatkan tanggapan dari para ahli geofisika. Beberapa prekursor gempabumi mulai dapat diamati. Dari hasil risetnya, Sobolev²⁾ menawarkan suatu prekursor gempa berdasarkan kemunculan derau (*noise*) mikroseismik beberapa hari sebelum terjadinya gempabumi kuat.

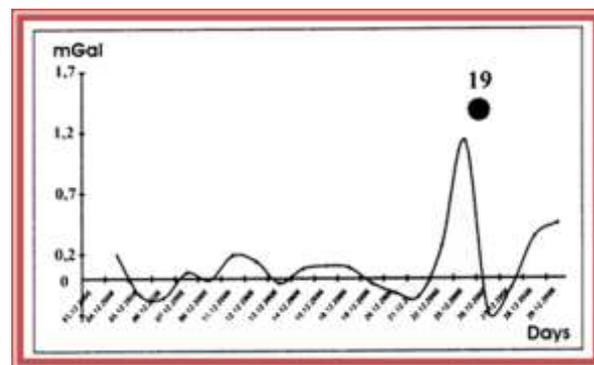
Hasanov³⁾ mencatat adanya perubahan komposisi geokimia fluida di stasiun pengamatan seismik Azerbaijan. Fenomena itu muncul sebelum terjadinya gempabumi kuat di Indonesia (8,9 SR) pada tanggal 26 Desember 2004 pada jarak sekitar 6000 km dari episenter. Hasanov juga mengamati adanya fenomena perubahan *hydro-geo-chemical* di stasiun pengamatan sebelum terjadinya gempabumi kuat dan dalam ($M > 6SR$, $h > 100$ km), dimana sumbernya terletak di zona seismik Hindu Kush di jalur tektonik Alpine-Himalaya.

Beberapa fenomena lainnya juga telah dikenali sebagai prekursor gempabumi, misalnya perubahan medan magnet, medan elektromagnetik, medan listrik, medan gravitasi, dan sebagainya.

Perubahan medan gravitasi sebagai prekursor gempabumi telah mulai diperkenalkan oleh para peneliti. Khalilov⁴⁾ 2009 menemukan fenomena menarik menjelang terjadinya gempabumi kuat. Kira-kira seminggu sebelum terjadinya

gempabumi, terdapat penurunan nilai g , yang kemudian diikuti dengan kenaikan secara drastis. Hal ini ditemui hampir di semua kejadian gempabumi kuat di seluruh dunia, baik yang terjadi di Jepang, Pakistan, China, Indonesia, dll.

Dijelaskan bahwa beberapa hari menjelang terjadinya gempabumi besar, pada zona hiposenter terdapat stress yang sangat besar. Stress ini akan menjalar ke segala arah sebagai gelombang stress, yang dalam terminologi ini disebut dengan gelombang tektonik, karena gelombang ini menjalar melalui medium kerak bumi. Gelombang tektonik mempunyai sifat mirip dengan gelombang seismik, namun mempunyai panjang gelombang sangat panjang (ratusan sampai ribuan km) dengan kecepatan rambat sangat lambat⁵⁾. Gambar 1 menunjukkan adanya precursor gempabumi berdasarkan perubahan medan gravitasi.



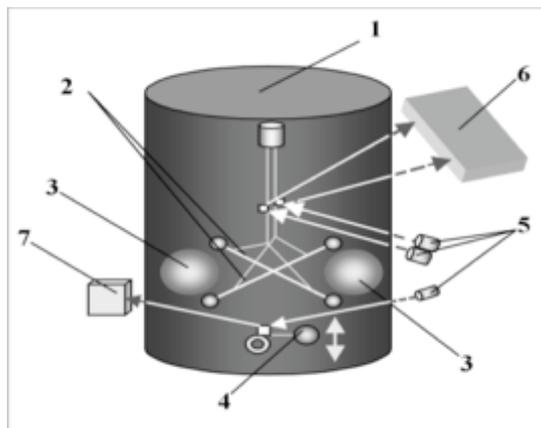
Gambar 1. Variasi gravitasi sebelum gempabumi di Taiwan, 26 Desember 2006 (Khalilov, 2009).

Suatu jaringan global untuk memprediksi gempa-bumi yang terdiri dari beberapa stasiun pengamatan dan bergabung ke dalam suatu jaringan tunggal saat ini telah ada, yaitu Jaringan Stasiun Atropatena yang berada di berbagai negara, antara lain: Azerbaijan, Pakistan, Indonesia, Turkey, dan Ukraina.

1.1. Metode Atropatena

Atropatena adalah sensor perubahan medan gravitasi, menggunakan prinsip Torsion Balance mirip pada Eksperimen Cavendish (lihat Gambar 2). Perangkat ini terdiri atas dua batang keseimbangan dengan beban kecil pada ujungnya (2) digantung pada benang, dan batang terletak saling tegak lurus. Di antara dua beban kecil, ditempatkan beban besar (3) pada ujungnya.

Adapun beban (4) tergantung pada tuas elastis khusus dan dapat bergerak secara vertikal selama terjadi perubahan medan gravitasi⁽⁶⁾.



Gambar. 2. Skema konstruksi detektor Atro-patena-ID. Keterangan: (1) Bejana vakum di mana detektor ditempatkan; (2) Batang keseimbangan dengan beban kecil pada ujungnya, (3) Beban besar; (4) Beban yang digantungkan pada tuas elastis; (5) pemancar laser; (6) matriks optik sensitif untuk sensor horizontal, (7) matriks optik sensitif untuk sensor vertikal (Khain dan Khalilov, 2008).

Seperti terlihat dalam skema (Gambar 2), pada batang keseimbangan (2) dan pada tuas sensor vertikal (4) terdapat cermin kecil yang memantulkan sinar laser ke tiga komponen arah, dan diterima di dua matriks optik horizontal (6) dan satu matriks optik vertikal. Sinyal digital ini kemudian ditransformasi-kan ke blok khusus pada komputer dan direkam dalam format khusus. Perangkat lunak yang dikembangkan memungkinkan untuk secara otomatis merekam informasi dalam bentuk file terpisah untuk periode waktu tertentu yang ditentukan oleh operator.

Semua sistem sensitif ini ditempatkan di dalam bejana kaca khusus (1), yang terisolasi dari lingkungan karena berada dalam ruang vakum (10^{-4} MPa).

Di samping itu juga ditempatkan beberapa sensor suhu dengan akurasi $0,1^{\circ}\text{C}$, digunakan untuk mengendalikan blok suhu sistem. Di ruangan tempat Atropatena berada, dijaga suhu permanen dengan ketelitian $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Untuk melindungi dari gerakan mekanik dan untuk isolasi panas yang lebih baik, maka sistem sensitif ini ditutup dengan plastik transparan, yang memungkinkan untuk secara visual melihat kinerja sistem (lihat Gambar 2). Dalam stasiun Atropatena juga dipasang sensor

seismik digital menggunakan sensor akselerasi tiga komponen dan datanya direkam secara kontinu.

Perekaman variasi medan gravitasi dari ketiga sensor di atas dilakukan dengan waktu cuplik satu sekon. Dalam hal ini digunakan sinar laser merah dengan panjang gelombang 645 nm dan matriks optik khusus untuk pencatatan pergeseran titik laser dengan ketelitian sudut deviasi $0,1$ derajat. Seluruh proses perekaman berlangsung dalam bentuk digital secara otomatis, tanpa campur tangan operator.

1.2. PREKURSOR GEMPABUMI BERDASARKAN VARIASI MEDAN GRAVITASI

Penyebab utama adanya variasi medan gravitasi sebelum terjadinya gempabumi kuat adalah adanya gelombang tektonik. Gelombang tektonik adalah gelombang stress yang dihasilkan oleh sumber gempa dalam proses persiapannya⁽⁷⁾. Gelombang tektonik muncul pada beberapa hari menjelang terjadinya gempabumi, dan menjalar ke segala arah melalui medium kerak bumi.

Gelombang tektonik akan menyebabkan variasi densitas terhadap waktu, yang terjadi pada massa kerak bumi sebagai akibat dari perubahan kondisi stress massa batuan. Variasi densitas terhadap waktu ini akan menyebabkan adanya variasi medan gravitasi di atas permukaan bumi. Stasiun Atropatena mencatat variasi medan gravitasi ini pada 3 komponen arah (X, Y, dan Z).

Dengan demikian, prediksi gempabumi dapat dilakukan dengan melihat variasi medan gravitasi yang dicatat oleh alat Atropatena. Atropatena mencatat sinyal-sinyal yang memiliki keteraturan yang pasti dan berkorelasi tinggi dengan gempabumi kuat di berbagai negara.

Sifat gelombang tektonik mirip dengan gelombang seismik, yaitu memiliki komponen longitudinal (P) dan transversal (S). Penjalaran gelombang tektonik longitudinal akan menyebabkan perubahan densitas batuan pada lapisan kerak bumi di sepanjang arah gerakan gelombang.

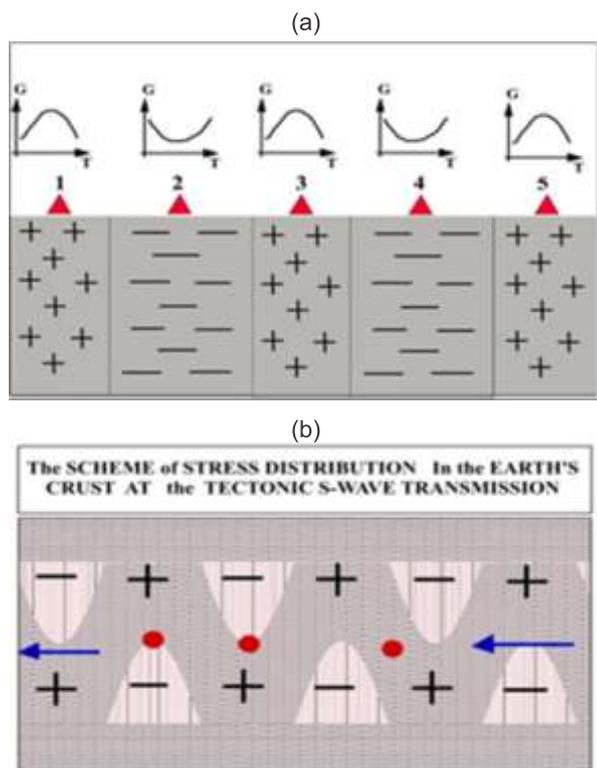
Terjadinya kompresi dan regangan pada lithosfer akan membangkitkan suatu gelombang kondensasi yang menyebabkan kenaikan dan penurunan densitas batuan di bawah stasiun Atropatena. Akibatnya pada stasiun Atropatena akan merekam perubahan medan gravitasi

komponen Z, seperti yang ditunjukkan dalam model (Gambar 3a).

Adapun penjalaran gelombang tektonik transversal akan menyebabkan perubahan densitas batuan pada lapisan lithosfer yang arahnya tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombang. Gambar 43 adalah variasi kompresi dan regangan pada lithosfer di bidang di mana gelombang transversal akan menyebabkan kenaikan dan penurunan densitas batuan dari arah tegak lurus perambatannya.

Akibatnya, stasiun Atropatena akan merekam perubahan medan gravitasi dalam dua arah horisontal yang saling tegak lurus, seperti yang ditunjukkan dalam model (Gambar 3b).

Dengan demikian, penjelasan secara fisika dari pengaruh gelombang tektonik terhadap perubahan medan gravitasi telah dapat dijelaskan secara logis. Hal inilah yang dapat menjelaskan adanya prekursor gempa bumi berdasarkan perubahan medan gravitasi.



Gambar 3. (a) Model pengaruh gelombang tektonik longitudinal pada perubahan densitas batuan dan variasi medan gravitasi yang terekam pada stasiun Atropatena (1-5), (b) Model pengaruh gelombang tektonik transversal pada variasi densitas batuan dalam arah horisontal (Khalilov, 2008).

1.3. STASIUN ATROPATENA-ID (STASIUN YOGYAKARTA)

Stasiun Atropatena-ID terletak di salah satu ruangan Gedung PIP2B (Pusat Informasi Pengembangan Permukiman dan Bangunan), yang berlokasi di Jl. Kenari, Yogyakarta (lihat Gambar 4).

Sebagai persyaratan minimal dari stasiun Atropatena harus dilengkapi dengan fasilitas pasokan listrik (*power supply*) yang stabil, generator listrik (*genset*) cadangan, UPS (*Uninterrupted Power Supply*), AC, dan jaringan internet.



Gambar 4. Gedung Pusat Informasi dan Pengembangan Permukiman dan Bangunan (PIP2B) di Jl. Kenari, Yogyakarta, dimana lokasi station Atropa-tena-ID ditempatkan.

Stasiun Atropatena-ID merupakan salah satu stasiun yang tergabung dalam GNFE (*Global Network for the Forecasting of Earthquakes*) yang berpusat di Istanbul (Turkey). Gambar 5 adalah alat Atropatena-ID yang ada di Yogyakarta.



Gambar 5. Foto alat prediksi gempa 'Atropatena'.

1.4. HASIL PREDIKSI PERDANA ATROPATENA

Dapat dicatat di sini bahwa hasil prediksi gempabumi yang pertama kali dilakukan oleh GNFE dengan alat Atropatena telah terbukti sepenuhnya benar.

Pada tanggal 10 Agustus 2009, GNFE mengirimkan surat ke Kedutaan Besar Jepang di Azerbaijan yang isinya menyampaikan prediksi gempa yang akan terjadi di Jepang. Surat itu mengatakan bahwa "GNFE memperingatkan akan adanya dua gempabumi kuat yang diperkirakan terjadi pada periode 10-18 Agustus 2009 dengan $M > 6$ SR di daerah selatan Honshu" (Wahyudi, 2009).

Sesuai dengan Piagam GNFE, surat peringatan tersebut telah ditembuskan ke setiap lembaga

anggota GNFE, termasuk kepada Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Provinsi DIY, Pusat Riset Gempa bumi Pakistan (Islamabad), *Presidium the Internasional Academy of Science* (Innsbruck), *Almaty Departement of Emergency Situation* (Almaty) serta beberapa organisasi lain.

Pada tanggal 12 Agustus 2009, sebuah gempabumi kuat berkekuatan 6,7 terjadi di wilayah Jepang Selatan Honshu, dan pada tanggal 17 Agustus 2009, sebuah gempabumi berkekuatan 6,4 juga terjadi di Jepang, yaitu di baratdaya Kepulauan Ryuku (lihat Gambar 6).

Dengan demikian telah dapat dicatat dalam sejarah keberhasilan memprediksi gempa bumi jangka pendek oleh alat Atropatena, yang bekerja berdasarkan perubahan medan gravitasi.



Gambar 6. Peta prediksi gempabumi dari GNFE dengan kode peramalan E109 (gempa bumi Jepang).

II. PREDIKSI GEMPABUMI JEPANG 11 MARET 2011 OLEH DETEKTOR ATROPATENA

Pada tanggal 11 Maret 2011 telah terjadi gempa bumi di Jepang (dekat pantai timur Honshu, Jepang) berkekuatan 8,9 SR dengan sumber gempa pada posisi 38,322° LU dan 142, 369° BT. Pada tanggal 9 Maret 2011, GNFE melalui websitenya (<http://seismonet.org>) telah mengumumkan prediksinya terhadap gempa bumi tersebut dengan kode prediksi E1511.

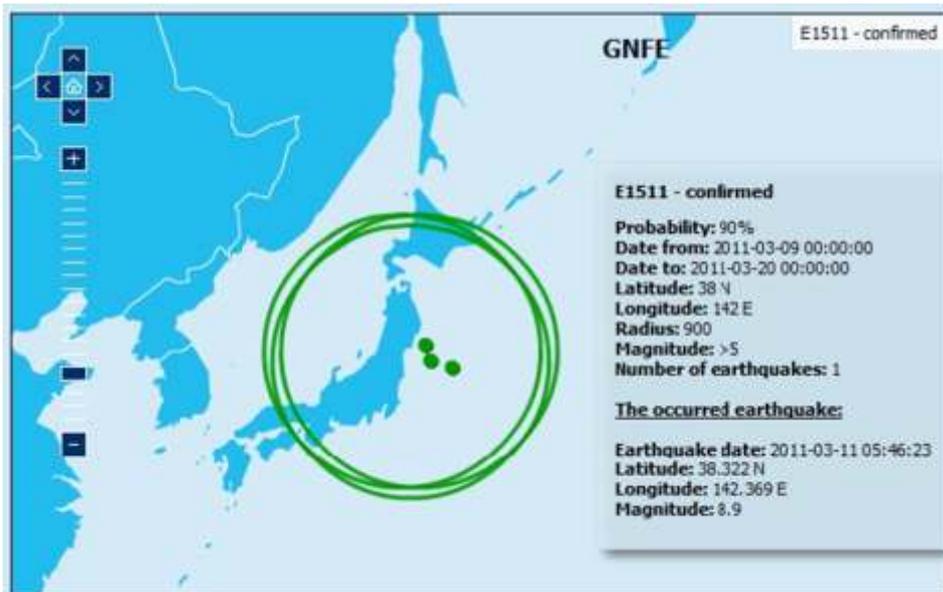
Dikatakan bahwa dengan probabilitas 90% di Jepang akan terjadi gempa bumi dengan magnitudo

> 5 SR antara tanggal 9-20 Maret 2011. Posisi sumber gempa diprediksi terjadi pada radius 900 km dari titik 38° LU dan 142° BT. Di samping gempa utama, beberapa gempa susulan juga telah diprediksi.

Gambar 7 adalah peta prediksi gempa bumi yang dilakukan oleh GNFE berdasarkan data dari jaringan stasiun Atropatena di seluruh dunia. Tanda panah menunjukkan lingkaran kebolehjadian posisi episenter gempa yang diprediksi. Adapun posisi sumber gempa utama dan beberapa gempa susulan secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Peta prediksi gempabumi dari GNFE pada tanggal 9 Maret 2011 yang memprediksi terjadinya gempabumi Jepang tanggal 11 Maret 2011 (tanda panah), diunduh dari <http://seismo-net.org>.



Gambar 8. Lingkaran prediksi gempabumi Jepang 11 Maret 2011, yang terdiri dari gempa utama dan beberapa gempa susulan (<http://seimonet.org>).

Adapun tampilan dari prediksi dengan kode E1511 yang dimuat dalam *website* GNFE dapat dilihat di bawah ini.

Forecast Code: E1511
 Probability: 90%
 Date from: 2011-03-09 00:00:00
 Date to: 2011-03-20 00:00:00
 Region: Japan
 Latitude: 38°N
 Longitude: 142°E
 Radius of area: 900

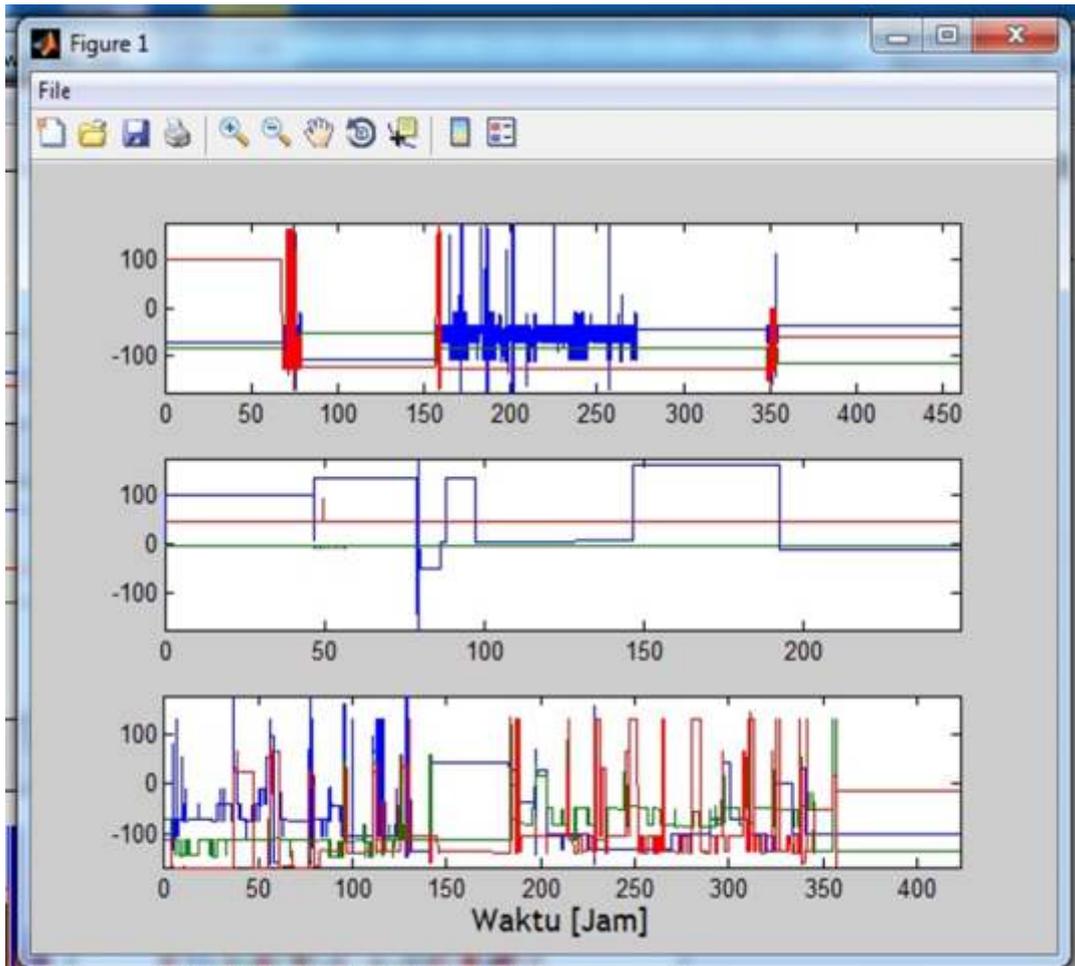
Magnitude: >5
 Number of earthquakes: 1
 Date of forecast: 2011-03-09 00:00:00 (International Date Line West)
Status: The forecast has proved to be true.
The occurred earthquake:
 Earthquake date: 2011-03-11 at 05:46:23 UTC
 Latitude: 38.322°N
 Longitude: 142.369°E
 Magnitude: 8.9
 Region: **OFF THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN**

III. PEMBAHASAN

Gelombang tektonik yang terjadi sebelum terjadinya gempa bumi Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 telah ditangkap oleh 3 stasiun Atropatena, yaitu Atropatena-ID (Indonesia), Atropatena-PK (Pakistan), dan Atropatena-AZ (Azerbaijan). Hasil rekaman data Atropatena pada ketiga stasiun tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari Gambar 9 terlihat bahwa stasiun Atropatena-ID menangkap gelombang tektonik

paling awal (7 Maret 2011, jam 20:57 UTC), kemudian disusul oleh stasiun Atropatena-PK (10 Maret 2011, jam 03:35 UTC) dan stasiun Atropatena-AZ (11 Maret 2011, jam 08:58 UTC). Hal ini dapat dipahami karena jarak antara episenter dengan stasiun Atropatena-ID adalah 5950 km, jarak dengan stasiun Atropatena-PK adalah 6190 km, dan jarak dengan stasiun Atropatena-AZ adalah 7650 km (lihat anak panah).



Gambar 9. Rekaman data Atropatena yang menunjukkan datangnya gelombang tektonik (tanda panah) pada stasiun-stasiun Atropatena-ID (atas), Atropatena-AZ (tengah), dan Atropatena-PK (bawah).

Dengan asumsi kecepatan gelombang tektonik sebesar 90 km/jam⁴⁾, maka dapat dihitung besarnya waktu tempuh gelombang tektonik dari sumber ke masing-masing stasiun. Berdasarkan perhitungan waktu tempuh inilah dapat diprediksi posisi episenter, dengan menggunakan teknik yang sederhana. Dalam penelitian ini digunakan dua

teknik untuk memprediksi posisi episenter, yaitu grid-search technique dan teknik lingkaran.

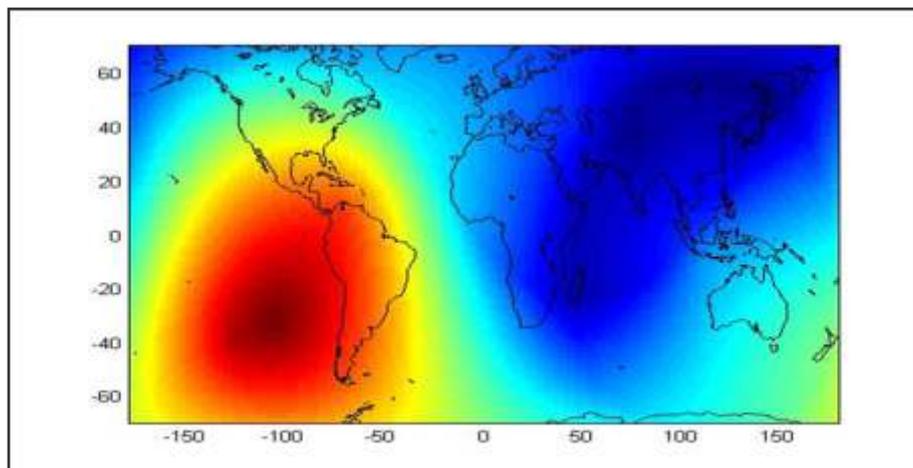
Dalam *grid-search technique*⁸⁾ posisi episenter diasumsikan terletak pada titik-titik grid yang dibuat di atas peta dunia. Selanjutnya posisi masing-masing stasiun diplotkan pada peta tersebut (lihat Gambar 10).



Gambar 10. Titik-titik grid dan posisi station Atropatena di atas peta dunia dalam *grid-search technique*⁸⁾.

Dengan mengasumsikan kecepatan rambat gelombang seismik dan menghitung jarak antara titik-titik grid dengan stasiun, maka dapat dihitung waktu tempuhnya. Dengan mengasumsikan waktu asalnya, maka dapat diperkirakan waktu tiba gelombang. Dengan mencocokkan waktu tiba gelombang hasil perhitungan dengan hasil rekaman data Atropatena, serta membandingkannya pada

semua stasiun, akan dapat dihitung kesalahan (*error*) dari semua titik grid yang dihitung. Titik grid dengan kesalahan yang paling kecil akan menjadi tempat kedudukan episenter. Selanjutnya dengan memetakan kesalahan tersebut, bisa ditentukan posisi episenter gempa, seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Posisi episenter gempa Jepang 11 Maret 2011, yang ditunjukkan oleh kontur berwarna biru tua, yang menggambarkan zona dengan kesalahan minimum pada *grid-search technique*.

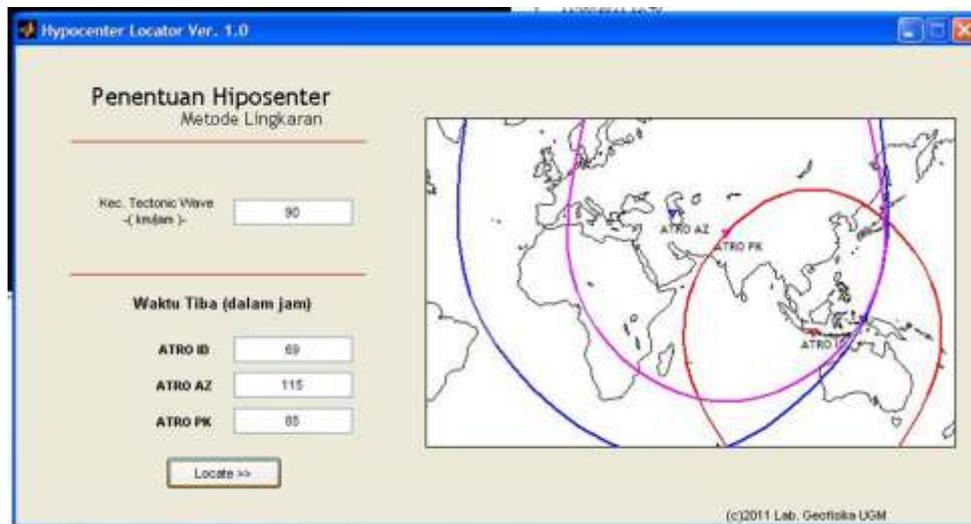
Dalam Gambar 11 diperlihatkan kontur berwarna biru yang menggambarkan zona dengan kesalahan minimum (tempat kedudukan episenter, lihat anak panah), dan kontur berwarna merah adalah zona dengan kesalahan maksimum.

Selanjutnya dalam teknik lingkaran, pada

prinsipnya adalah membuat lingkaran dengan waktu tempuh gelombang sebagai jari-jari dan pusat lingkaran pada masing-masing stasiun. Lingkaran tersebut akan saling berpotongan pada satu titik, yang merupakan tempat kedudukan episenter gempa⁹⁾.

Pada Gambar 12 ditunjukkan 3 buah lingkaran yang berpusat di stasiun Indonesia, Pakistan, dan Azerbaijan, dan berpotongan di

wilayah Jepang dimana gempa bumi 11 Maret 2011 terjadi.



Gambar 12. Menentukan episenter gempa dengan teknik lingkaran. Perpotongan ketiga lingkaran menunjukkan posisi episenter gempa bumi Jepang yang terjadi pada tanggal 11 Maret 2011.

IV. KESIMPULAN

1. Jaringan stasiun Atropatena yang tergabung dalam GNFE telah mencatat datangnya gelombang tektonik dari gempa bumi Jepang 11 Maret 2011.
2. Berdasarkan data waktu tiba gelombang tektonik pada masing-masing stasiun, telah berhasil diprediksi posisi episenter gempa bumi Jepang 11 Maret 2011.

V. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Geller, R.J., Jackson, D.D., Kagan, Y.Y., & Mulargia, F. (1997). Earthquake Cannot be Predicted. *Science*, 275(5306), 1616-1617.
- 2) Sobolev, G.A., Lyubushin, A.A., & Zakrjevskaya, N.A., (2008). Asymmetric Impulses, Periodicity and Synchronization of Low-frequency Microseisms. *Volcanology and Seismology*, #2, 135-152.
- 3) Hasanov, A.A., & Keramova, R.A. (2006). Reflection of global geodynamical processes in seismic-geo-chemical mode of fluids of Azerbaijan by the example of catastrophic earthquake in the Indian Ocean (26.12.04; $MLH=8.9$). In the book *Geophysics of XXI Century: 2005*, collected papers of GEON "Scientific World", 326-330.
- 4) Khalilov E.N. (2009). *Global Network for Forecasting of Earthquakes. New Technology and New Philosophy*. London: SWB.
- 5) Wahyudi, & Khalilov (2009). Atropatena, a Break through to Predict the Earthquakes. *Proceeding of the International Workshop of Earthquake Precursor*, Bukittinggi: BMKG.
- 6) Khain, V.Y., & Khalilov, E.N. (2008). *Space-Time Regularities Of Seismic And Volcanic Activity*. Science Without Borders, Innsbruck, Transactions of the International Academy of Science H & E.
- 7) Khalilov, E.N. (2008). *Forecasting of Earthquakes: the Reasons of Failures and the New Philosophy*. SWB, Innsbruck. Transactions of the International Academy of Science H&E. Vol.3.
- 8) William, R., & Toksoz, M.N. (1999). Grid-Search Techniques for Seismic Event Locations. *Earth Resources Laboratory, Massachusetts Institute of Technology*.
- 9) Bancroft, J.C & Xiang Du (2006). Locating microseismic events and travel time mapping using locally spherical wavefronts. *CREWES Research Report - Volume 18*.