

STRUKTUR KECEPATAN S ANTARA GEMPA C081499A, SUMATERA SELATAN DAN STASIUN OBSERVASI RER

Bagus Jaya Santosa

Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

E-mail: bjs@physics.its.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menginvestigasi struktur kecepatan S di Lautan Hindia melalui *fitting* seismogram, akibat gempa C081499A, Sumatra Selatan dan direkam di stasiun RER, Pulau Reunion, Perancis. seismogram observasi dibandingkan dengan seismogram sintetik dalam domain waktu dan ketiga komponen kartesian secara simultan. Seismogram sintetik dihitung dengan program GEMINI, dimana input awalnya adalah model bumi *global Ocean* dan *PREMAN*. Selain itu pada kedua seismogram dikenakan *low-pass filter* dengan frekuensi *corner* pada 20 mHz. Analisis seismogram menunjukkan penyimpangan yang sangat kuat pada pengamatan atas waktu tiba, jumlah osilasi dan tinggi amplitudo, pada gelombang permukaan *Love* dan *Rayleigh* dan gelombang ruang S. Untuk menyelesaikan simpangan yang dijumpai diperlukan koreksi atas struktur bumi meliputi ketebalan kulit bumi, gradien kecepatan β_H dan besar koefisien-koefisien untuk β_H dan β_V di *upper mantle*, dan sedikit perubahan pada kecepatan S di lapisan-lapisan bumi hingga kedalaman 400 km. *Fitting* seismogram diperoleh dengan baik pada *waveform* fase gelombang, baik waktu tempuh osilasi utama dan jumlah osilasi. Hasil riset ini menunjukkan, bahwa daerah Lautan Hindia mempunyai koreksi atas struktur kecepatan S dengan nilai positif terhadap model lautan. Hasil ini berbeda dengan hasil riset seismologi lainnya.

Abstract

The research investigated the S speed of earth structure under Indian Ocean using seismogram fitting, due to the C081499A earthquake, South Sumatra and recorded in the observation station RER at Reunion Island, France. The observed seismogram is compared to its synthetic in time domain and three cartesian components simultaneously. Synthetic seismogram is calculated with the GEMINI program, the initial inputs are the global earth models of Ocean and PREMAN. Prior to seismogram comparison, a low-pass filter with corner frequency of 20 mHz is imposed. The result of analysis shows a very strong deviation at the arrival time, oscillation amount and amplitude height of *Love* and *Rayleigh* surface waves and S body wave. To overcome the found discrepancies a correction to the earth structure is needed covering the earth crust thickness, speed gradient of β_H and zero-order coefficient for the β_H and β_V in upper mantle, and a little change in S speed in earth layers down to a depth of 400 km. Seismogram fitting is better obtained at waveform of the wave phase, either the travel time or oscillation number of S wave and *Love* surface wave. The results shows that the Indian Ocean has correction to the S speed structure, which is positive to standard earth model. This result differs from other seismology research.

Keywords: seismogram analysis, S velocity model, Indian Ocean

1. Pendahuluan

Gempa C081499A adalah gempa kuat, yang terjadi di Sumatra Selatan pada tanggal 14 Agustus 1999 sebesar 6.0 skala Richter dengan kedalaman sumber gempa terletak di 100 km. Akibat gempa kuat ini seluruh isi bumi akan terguncang, sehingga semua tempat di permukaan bumi dapat merasakan getaran tanah akibat gempa tersebut, walaupun amplitudo pergerakan tanah dalam orde mm.

Getaran atau pergerakan tanah dapat diukur melalui seismometer di stasiun penerima. Seismometer mengubah kecepatan atau percepatan pergerakan tanah dalam dimensi [mm/dt atau mm/dt²] menjadi dimensi tegangan listrik (mV), dan direkam sebagai deret waktu berupa bilangan digital. Rekaman ini dapat disajikan kembali sebagai seismogram. Seismogram adalah data runtun waktu yang tersusun atas fase-fase gelombang yang kompleks, berasal dari refleksi atau refraksi yang terjadi di dalam bumi. Gelombang dalam perambatannya dari sumber gempa hingga stasiun penerima menjumpai berbagai antarmuka, sehingga seismogram tersusun atas berbagai fase gelombang yang rumit.

Analisis kuantitatif atas seismogram adalah mencatat waktu-waktu tiba fase gelombang utama, dan hubungan antara kecepatan fase dengan perioda pada gelombang permukaan, yang disebut sebagai analisis dispersi. Informasi ini dapat digunakan untuk mendapatkan parameter gempa bumi dan struktur bumi. Waktu tiba yang paling mudah diamati adalah *first break* P. Dua metoda kuantitatif yang digunakan untuk menganalisis seismogram di atas hanya mengevaluasi sedikit informasi tertentu dalam sebuah deret waktu seismogram.

Dari catatan waktu tiba fase gelombang, struktur kecepatan perambatan gelombang P dan S dapat diinterpretasikan melalui aplikasi atas teori inversi. Karena jumlah data waktu tempuh gelombang P jauh lebih banyak daripada jumlah data waktu tempuh gelombang S, resolusi dari struktur kecepatan P juga lebih baik daripada struktur kecepatan S. Dari himpunan data waktu tempuh yang diperoleh dengan mencatat waktu tiba yang direkam oleh stasiun-stasiun yang tersebar di seantero permukaan bumi atas ribuan gempa dan dalam rentang waktu yang lama, sebuah model bumi global seperti *Ocean*, *PREM*, *PREMAN* (versi vertikal anisotrop dari PREM) [1] dan IASPEI91 [2] dapat ditentukan.

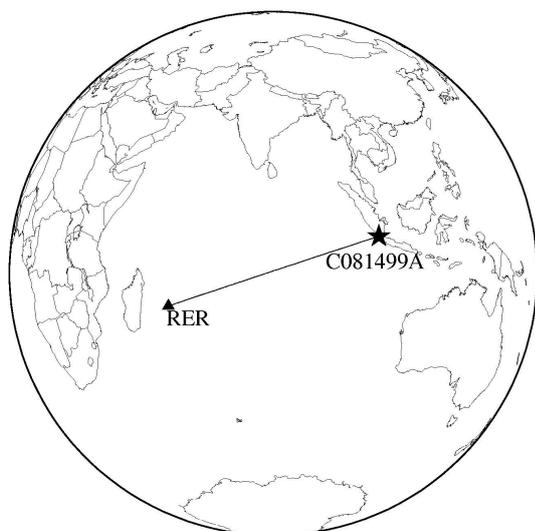
Model bumi global dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendapatkan model bumi regional, melalui penggelaran stasiun-stasiun observasi di sekitar daerah-daerah sumber gempa. Melalui aplikasi atas teori inversi pada data waktu tempuh di stasiun-stasiun observasi di sekitar sumber gempa, didapatkan struktur bumi regional yang lebih detil di bawah daerah yang diteliti. Riset-riset sebelumnya di daerah ini umumnya menggunakan metoda analisis dispersi, dimana hubungan antara kecepatan fase terhadap perioda pada gelombang permukaan di masing-masing komponen gerak menjadi data sekunder, untuk mendapatkan struktur anisotropi dan heterogenitas di bawah Lautan Hindia [3-4].

Pertanyaan yang hendak diselesaikan dalam riset ini adalah bagaimana model kulit bumi di daerah Lautan Hindia, apakah dengan model kulit bumi lautan atau benua dan bagaimana reaksi *waveform* terhadap model-model kulit bumi ini serta bagaimana struktur kecepatan S di bawah Lautan Hindia dengan memanfaatkan seismogram analisis.

2. Metode Penelitian

Data seismogram diperoleh dari *databank center IRIS* (<http://dmc.iris.washington.edu>) yang dapat diakses melalui internet. Setiap gempa menghasilkan pergerakan tanah, yang oleh sebuah stasiun akan direkam dalam arah ketiga komponen kartesian (N-S, E-W dan vertikal Z, lokal pada kedudukan stasiun penerima, dikenal sebagai kanal dengan akhiran -E -N dan -Z). Kedudukan sumber gempa adalah di Sumatera Selatan, dengan koordinat 5,89⁰ Lintang Selatan dan 104,71⁰ Bujur Timur sedangkan stasiun observasi RER terletak di pulau Reunion, Perancis pada 21,16⁰ Lintang Selatan dan 55,75⁰ Bujur Timur. Untuk memisahkan komponen pergerakan tanah dalam arah toroidal dan radial, bidang horisontal yang dibentuk oleh garis N-S dan E-W lokal di stasiun observasi harus diputar, sedemikian hingga arah utara lokal diarahkan pada arah busur kecil dari stasiun observasi RER ke arah episenter gempa (arah *back-azimuth*) (Gambar 1). Pengubahan arah diperlukan untuk memisahkan gelombang dalam ruang 3-dimensi menjadi komponen-komponen penalaran gelombang dalam mode gelombang P-SV dan SH.

Pertama dalam penelitian ini harus dijalankan program komputer untuk melaksanakan perhitungan atas waktu tempuh sintetik fase-fase gelombang ruang utama, yaitu program TTIMES yang dibuat berdasarkan makalah dari Bulland dan Chapman [5] yang didapat dari situs <http://orfeus.knmi.nl>. Untuk memproduksi seismogram sintetik dari gempa tersebut di stasiun observasi digunakan program yang berbasis metoda *GEMINI* (*Green's function of the Earth by MINor Integration*) [6-7].



Gambar 1. Jalan Gelombang dari Episenter hingga Stasiun Observasi RER

Program *GEMINI* menghitung minor dari fungsi-fungsi *Greens* atas suatu model bumi dengan suatu kedalaman sumber gempa tertentu. di mana fungsi-fungsi *Greens* diekspansikan untuk memenuhi kondisi syarat batas di titik terdalam penjalaran gelombang, titik kedalaman sumber dan permukaan bumi. Ekspansi dituliskan dalam frekuensi kompleks, dengan memasukkan *trick damping* untuk menghindari *time aliasing*. Seismogram sintetik ditransformasikan dari domain frekuensi kompleks ke domain waktu, dimana sebelumnya dikenakan *filter* lolos rendah *Butterworth* dan *RESPONSE file* dari sistim peralatan seismometer di stasiun penerima, yaitu deskripsi tentang perubahan fase dan amplifikasi dari sistim peralatan ketika mengubah *input* dalam kecepatan atau percepatan pergerakan tanah menjadi *output* tegangan [mV], sehingga seismogram sintetik dan seismogram riil dibandingkan dalam dimensi yang sama.

Ketika program ini dijalankan, haruslah sebuah model bumi diberikan sebagai input awal, yaitu model bumi *Ocean* dan *PREMAN*. Sebagai model bumi masukan, data harus mengandung parameter elastik secara lengkap, yaitu meliputi kecepatan penjalaran gelombang kompresi dan *shear* dari batuan penyusun struktur bumi.

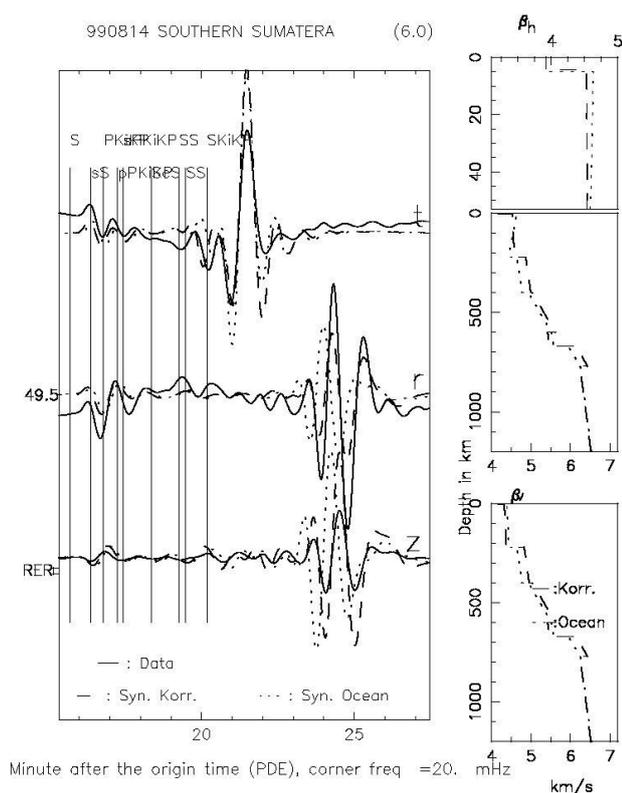
Jumlah data dalam komparasi seismogram pada tiga komponen adalah ribuan, sehingga perubahan ketebalan kulit bumi, *gradient* kecepatan, dan besar koefisien awal fungsi polinomial kecepatan di tiap lapisan bumi dilakukan melalui metode *trial and error*.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ditampilkan analisis sebuah gempa Sumatra Selatan, 14 Agustus 1999, yang gelombangnya ditangkap oleh stasiun observasi seismologi RER di Pulau Reunion, Perancis.

Pertama akan disajikan analisis seimogram antara seimogram terukur dengan sintetik-sintetiknya, yang masing-masing dihitung dari model bumi standar *Ocean* yang vertikal anisotropi (3 *trace* atas) dan *PREMAN* yang juga vertikal anisotrop (3 *trace* bawah).

Pada Gambar 2 dapat dilihat, perbedaan antara seismogram riil dengan sintetiknya yang terjadi baik pada *travel time* atau bentuk *waveform* secara keseluruhan, yaitu tinggi amplitudo dan jumlah osilasi. Jarak episentral stasiun RER adalah $49,5^0$, sehingga gelombang-gelombang S dan repetisinya terpisah cukup jauh dari gelombang permukaan *Love* yang memiliki amplitudo besar. Dapat dilihat bahwa ada problem pada solusi CMT [8], bahwa tinggi amplitudo pada ketiga komponen mempunyai perbedaan dengan besaran yang berbeda-beda. Seandainya besar energi yang dilepaskan oleh sumber gempa diperkecil dengan upaya membuat



Gambar 3. Perbandingan seismogram terukur dengan sintetik dikoreksi untuk jendela waktu gelombang S hingga Love di stasiun RER, frek. sudut 20 mHz

perbandingan seismogram didasarkan pada seismogram sintetik yang dibangun dari model bumi *Ocean* dan model bumi dikoreksi.

Gambar 3 menunjukkan *fitting* seismogram pada gelombang permukaan Love yang terjadi baik pada *travel time* ataupun jumlah osilasi. Amplitudo awal dari gelombang Love dapat disimulasikan dengan sangat baik. *Fitting* ini diperoleh dengan mengubah ketebalan kulit bumi seperti pada model kulit bumi *Ocean* dan gradien struktur kecepatan β_h menjadi positif di lapisan *upper mantle* [9]. Untuk mendapatkan *fitting* pada gelombang SH dan SV, dimana SH dan SV sintetik dari model *Ocean* mempunyai keterlambatan waktu tiba sebesar 6 detik, maka nilai kecepatan pada lapisan-lapisan di bawah *upper mantle* hingga kedalaman CMB (*core mantle boundary*) juga diperbesar, dimana perubahan kecepatan yang paling besar dikenakan pada lapisan-lapisan langsung di bawah *upper mantle*. Sedangkan perbaikan pada gelombang Rayleigh dilaksanakan dengan koreksi yang juga bernilai positif pada lapisan-lapisan dalam bumi di bawah *upper mantle*.

4. Kesimpulan

Perbandingan seismogram antara seismogram terukur dengan sintetik-sintetiknya dari dua model bumi standard *Ocean* dan *PREMAN*, menunjukkan deviasi yang nyata pada *waveform* gelombang ruang S hingga gelombang permukaan Love. Hasil analisis menunjukkan bahwa perbedaan ketebalan kulit bumi diperjelas oleh *waveform* gelombang Love, walaupun orde dari panjang gelombangnya 7,5 kali lebih besar daripada beda ketebalan kulit bumi. Hal ini menjadi keunggulan dari metoda analisis *waveform* dalam dimensi waktu dan ketiga komponen ruang secara simultan. Untuk menyelesaikan diskrepansi yang dijumpai, digunakan ketebalan kulit bumi seperti pada model bumi *Ocean* dan perubahan pada gradien kecepatan β_h di *upper mantle* untuk mendapatkan *fitting* pada gelombang permukaan Love, dan koreksi negatif pada koefisien β_v di *upper mantle*. Sedangkan untuk *fitting* pada gelombang S dilaksanakan perubahan lebih lanjut pada nilai-nilai kecepatan di lapisan-lapisan bawah *upper mantle* hingga kedalaman CMB, dengan koreksi positif.

Daftar Acuan

- [1] A.M. Dziewonski, D. L. Anderson, *Phys. of the Earth and Plan. Int.* 25 (1981) 297.
- [2] B. L. N. Kennett, , *IASPEI 1991 Seismological Tables*, Research School of Earths Sciences Australian National University, Canberra, 1991.
- [3] J. J. Lévêque, , E. Debayle, V. Maupin, *Geophys. J. Int.* 133 (1998) 529.
- [4] E. Debayle, J. J. Lévêque, *Geoph. Res. Lett.* 24 (1997) 245.
- [5] R. Bulland, C. Chapman, *BSSA*, 73 (1983) 1271.
- [6] J. Dalkolmo, *Diplomarbeit*, Inst. fuer Geophysik, Uni. Stuttgart, Germany, 1993.
- [7] W. Friederich, J. Dalkolmo, *Geophys. J. Int.* 122 (1995) 537.
- [8] D. S. Dreger, *Time-Domain Moment Tensor INVerse Code (TDMT_INV)*, The Berkeley Seismological Laboratory (BSL), Report Number 8511, 2002.

