

Studi Kasus Daerah Prospek Panasbumi di Pulau Jawa Menggunakan Teknik Tomografi Waktu Tunda Gelombang P dan S Terhadap Keberadaan Sumber Panas

Faid Muhlis, Risca Listyaningrum, Indriati Retno Palupi and Joko Soesilo

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

faid.muhlis3@gmail.com

Kata Kunci: panasbumi, sumber panas, relokasi, tomografi

ABSTRAK

Letak Indonesia yang dilalui oleh cincin api menjadikan Indonesia mempunyai potensi panasbumi yang besar khususnya di Pulau Jawa. Potensi panasbumi tersebut ditetapkan sebagai layak produksi, prospek dan lainnya masih berupa manifestasi. Perkembangan panasbumi di Jawa seakan terbagi menjadi dua yaitu Jawa bagian barat dan timur dimana panasbumi di Jawa bagian barat lebih berkembang. Sehingga diperlukan suatu teknik geofisika untuk mengamati keberadaan prospek panasbumi menggunakan teknik tomografi. Data yang digunakan berupa data gempa tektonik yang kemudian dilakukan relokasi menggunakan matriks Jacobian berdasarkan model kecepatan Jeffreys-Bullen. Relokasi dilakukan untuk memposisikan kembali hiposenter sesuai dengan kondisi geologi sehingga data siap dilakukan tomografi. Hasil tomografi waktu tunda pada gelombang P dan S akan memperlihatkan keberadaan sumber panas pada hasil berupa anomali gelombang P, anomali gelombang S dan vp/vs. Berdasarkan hasil pengolahan pada sayatan horisontal dan vertikal maka kondisi sumber panas di daerah Jawa bagian barat mempunyai volume yang lebih besar dibanding timur, namun kedaannya yang stabil menjadikan Jawa bagian barat mempunyai prospek yang lebih baik

LATAR BELAKANG

Lokasi Indonesia hampir seluruhnya dilalui oleh ring of fire yang menjadikan terdapat banyak prospek panasbumi. Sumberdaya panasbumi dapat diekplorasi menggunakan tiga ilmu utama salah satunya metode geofisika disamping geologi dan sifat kimia fluida panas (Georgsson, 2009). Hal tersebut dijelaskan oleh *Incorporated Research Institutions for Seismology* (IRIS, 2013) bahwa ahli seismologi dapat menggunakan tomografi untuk menduga struktur geologi seperti subduksi tektonik lempeng atau *partial melting* sedangkan ahli vulkanologi menggunakan tomografi untuk mengetahui ukuran dapur magma di bawah gunungapi. Kajian geofisika tersebut berkaitan dengan keberadaan sumber panas berdasarkan tomografi dari hasil relokasi data gempa. Penelitian difokuskan pada Pulau Jawa dengan menggunakan model kecepatan Jeffreys-Bullen (Gambar 1). Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai bahan referensi terhadap keberadaan sumber panas berkenaan dengan terdapatnya prospek sumber panasbumi di Pulau Jawa.

RUMUSAN MASALAH

Terdapat perbedaan perkembangan panasbumi yang ada di Pulau Jawa yang dijelaskan oleh Wahyuningsih (2005) dan Setijadji (2010). Wahyuningsih (2005) menyatakan bahwa prospek panasbumi bertambah dari timur ke barat. Selanjutnya Setijadji (2010) bahwa Jawa Barat adalah daerah panasbumi paling prospek berdasarkan aliran panas

dan aktivitas seismik yang terbesar di Pulau Jawa. Sehingga pada penelitian ini dilakukan suatu teknik tomografi yang digunakan untuk mengetahui keberadaan sumber panas di Pulau Jawa. Benarkah hal tersebut dapat diamati dari hasil tomografi seismologi?

TINJAUAN PUSTAKA

Tatanan Tektonik Pulau Jawa

Pulau Jawa berada di tepi tenggara Daratan Sunda. Pada Daratan Sunda ini terdapat dua sistem gerak lempeng yaitu Lempeng Eurasia di utara dan Lempeng Samudera Hindia Australia di selatan. Lempeng Eurasia bergerak ke tenggara sejak Oligosen (Longley, 1997), sedangkan Lempeng Samudera Hindia Australia yang berada di selatan bergerak ke utara sejak Mesozoikum dan menunjam ke bawah sistem busur Sumatra dan Jawa (Liu dkk., 1983). Penelitian lain dari USGS (2011) menunjukkan bahwa Pulau Jawa tidak sejajar dengan arah kemenerusan subduksi. Sedangkan Setijadji (2010) menjelaskan bahwa terdapat 3 struktur utama Jawa yaitu Sesar Citandui, Sesar Cimandiri dan Sesar Jawa Tengah.

Potensi Panasbumi Pulau Jawa

Berdasarkan laporan Badan Geologi (2011) bahwa potensi sumberdaya panasbumi di Indonesia sebanyak 276 lokasi. Diperkirakan sumberdaya dan cadangan mencapai 28.994 MWe dengan kapasitas yang digunakan adalah sekitar 4% dari total yang ada di Indonesia. Selanjutnya, 37 dari 276 dapat dipertimbangkan sebagai wilayah kerja pertambangan (WKP) dengan potensi sebesar 7.376 MWe.

METODOLOGI

Relokasi Hiposenter

Relokasi bertujuan untuk menempatkan posisi gempa pada koordinat x, y dan kedalaman z yang baru berdasarkan model kecepatan bawah permukaan. Hal tersebut diperlukan terhadap data gempa ISC yang dimiliki (Adams et al., 1982). Relokasi dilakukan menggunakan *software* Matlab R2008b menggunakan matriks Jacobian dengan model kecepatan Jeffreys-Bullen. Hasil relokasi menggeser posisi hiposenter secara horisontal kearah tenggara dengan x adalah 10 km dan y adalah 5 km dan menjadi lebih dangkal secara kedalaman dari 1, 2, 5, 10, 15 sampai 20 km.

Metode Tomografi

Metode tomografi yang digunakan pada penelitian ini adalah algoritma penjalaran sinar gelombang berdasarkan asas Fermat yang menyatakan penjalaran gelombang dengan waktu tercepat (Koulakov, 2012). Proses tomografi terhadap data hasil relokasi dilakukan menggunakan *software* Lotos 2012. Hasil tomografi berupa sayatan horisontal dan vertikal dengan nilai anomali gelombang P, anomali gelombang S dan vp/vs. Anomali gelombang P dan S digambarkan dalam

satuan persen (%) perturbasi dengan warna merah menunjukkan nilai negatif sebagai medium tidak kompak dan warna biru menunjukkan nilai positif sebagai medium kompak, sedangkan vp/vs digambarkan dengan warna merah yang bernilai lebih tinggi dibandingkan warna biru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat dua jenis fasa gelombang yaitu gelombang P berjumlah 48.603 dan gelombang S berjumlah 9.961 data. Kedua gelombang tersebut tercatat sebagai 7.182 *event* gempa yang terekam oleh 91 stasiun perekam gempa (Gambar 2).

Anomali Gelombang P

Gambar 5.3 menunjukkan persebaran warna merah yang menunjukkan nilai rendah sebagai cerminan penjalaran gelombang P yang merambat dengan kecepatan rendah sedangkan warna biru menunjukkan medium padat yang menunjukkan penjalaran gelombang P dengan kecepatan tinggi. Berdasarkan nilai persen perturbasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa anomali gelombang P ditunjukkan dengan warna merah berada pada topografi pegunungan di Pulau Jawa maka dapat diperkirakan bahwa medium tidak kompak di bawah gunungapi tersebut berupa fluida panas gunungapi.

Anomali Gelombang S

Gambar 4 menunjukkan hasil tomografi pada anomali gelombang S. Anomali gelombang S mempunyai respon yang sama seperti anomali gelombang P namun dengan intensitas warna yang lebih rendah. Nilai rendah di area subduksi yang digambarkan oleh garis mengindikasikan fluida panas yang ditunjukkan dengan topografi pegunungan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa daerah tersebut adalah daerah leburan lempeng dikarenakan proses subduksi. Berdasarkan analisa setiap kedalaman maka semakin bertambahnya kedalaman bahwa persebaran warna merah yang semakin meluas menunjukkan semakin dekatnya pada daerah peleburan lempeng.

Rasio Vp/Vs

Menurut Silitonga (1973) rasio Vp/Vs bernilai tinggi seringkali dikaitkan dengan retakan pada batuan yang terisi fluida sedangkan yang bernilai rendah berkaitan dengan batuan kering dan terisi gas (Silitonga, 1973). Selanjutnya dijelaskan Geifly dan Axel (1991) bahwa nilai Vp/Vs di sekitar 1,72 mengindikasikan adanya uap. Pada kasus ini pengamatan dilakukan pada kedalaman lebih dari 50 km maka tidak akan ditemui fluida yang berupa cairan maupun gas pada ratio Vp/Vs tinggi yang diasosiasikan dengan medium yang bersifat lunak (*ductile*). Keberadaan medium *ductile* tersebut yang selanjutnya dikaitkan dengan keberadaan sumber panas sehingga mampu menjadikan medium tersebut lunak karena panas (Gambar 5).

Prospek Panasbumi dari Korelasi Hasil Tomografi

Pada Gambar 6a terdapat manifestasi panasbumi ditunjukkan pada sayatan yang berupa topografi pegunungan. Sayatan 2A-2B memotong antara lain Bogor, Bandung, Dieng-Wonosobo, Solo dan Malang sedangkan pegunungan yang dipotong antara lain G. Salak, G. Gede, G. Slamet, G. Sindoro-Sumbing, G. Merbabu, G. Lawu, G. Wilis, G. Arjuno, G. Bromo dan G. Argopuro. Berdasarkan hasil Vp/Vs maka dapat diamati terdapat 8 lokasi daerah prospek panasbumi ditunjukkan dengan warna merah (bernilai 1,7-1,9) yang asosiasikan dengan medium *ductile*. Lokasi tersebut berada di Bogor, Bandung, barat G. Slamet,

G. Slamet, Dieng, Merbabu sampai G. Lawu, G. Wilis, G. Arjuno sampai G. Bromo dan G. Argopuro. Adanya topografi pegunungan pada sayatan menunjukkan bahwa terdapatnya fluida panas pada daerah tersebut. Berdasarkan korelasi sayatan maka terdapat 13 daerah prospek panasbumi pada sayatan 2A-2B salah satunya G. Salak. Respon tersebut dapat dibuktikan dengan terdapatnya lokasi pertambangan panasbumi yang telah aktif yaitu di Gunung Salak.

Pada Gambar 6b terdapat anomali panasbumi ditunjukkan pada sayatan yang berupa topografi pegunungan. Sayatan 3A-3B memotong antara lain Jawa Barat, Purwokerto, Yogyakarta, Pacitan dan Samudra Hindia Australia sedangkan pegunungan yang dipotong antara lain G. Patuha dan Kompleks Kamojang (Kamojang, Darajat dan Wayang-Windung). Berdasarkan hasil Vp/Vs maka dapat diamati terdapat 6 lokasi daerah prospek panasbumi ditunjukkan dengan warna merah (bernilai 1,7-1,9) yang asosiasikan dengan medium *ductile*. Lokasi tersebut berada di bawah G. Patuha sampai Kompleks Kamojang, barat Purwokerto, antara Yogyakarta sampai Pacitan, timur Pacitan dan di Samudra Hindia Australia. Adanya topografi pegunungan pada sayatan menunjukkan bahwa terdapatnya fluida panas pada daerah tersebut. Berdasarkan korelasi sayatan maka terdapat 6 daerah prospek panasbumi dimana 3 di Jawa Barat dan 3 dari Pacitan ke timur. Respon tersebut dapat dibuktikan dengan terdapatnya lokasi pertambangan panasbumi yang telah aktif yaitu di Gunung Patuha dan Kompleks Kamojang.

Gambar 7 menunjukkan korelasi yang sama namun sayatan berarah utara-selatan. Hal tersebut memungkinkan mengetahui luasan persebaran warna sehingga dapat diketahui keberadaan sumber panas pada daerah Jawa bagian barat pada Gambar 7a dan Jawa bagian timur pada Gambar 7b.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil relokasi dan metode tomografi dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil relokasi menggunakan matriks Jacobian berdasarkan referensi model kecepatan Jeffreys-Bullen menggeser posisi hiposenter secara horisontal bergeser ke arah Tenggara dengan x adalah 10 km dan y adalah 5 km dan menjadi lebih dangkal secara kedalaman dari 1, 2, 5, 10, 15 sampai 20 km.
- Berdasarkan hasil sayatan horisontal dan vertikal maka dapat diketahui bahwa daerah yang menunjukkan respon prospek panasbumi sebagai sumber panas ditunjukkan dengan nilai 1,72-1,9 pada rasio Vp/Vs dan memiliki nilai 0 sampai -30% pada anomali gelombang P dan S.
- Berdasarkan hasil analisa daerah prospek panasbumi dari hasil tomografi maka terdapat 16 lokasi daerah prospek di barat Jawa dan 14 lokasi daerah prospek di timur Jawa

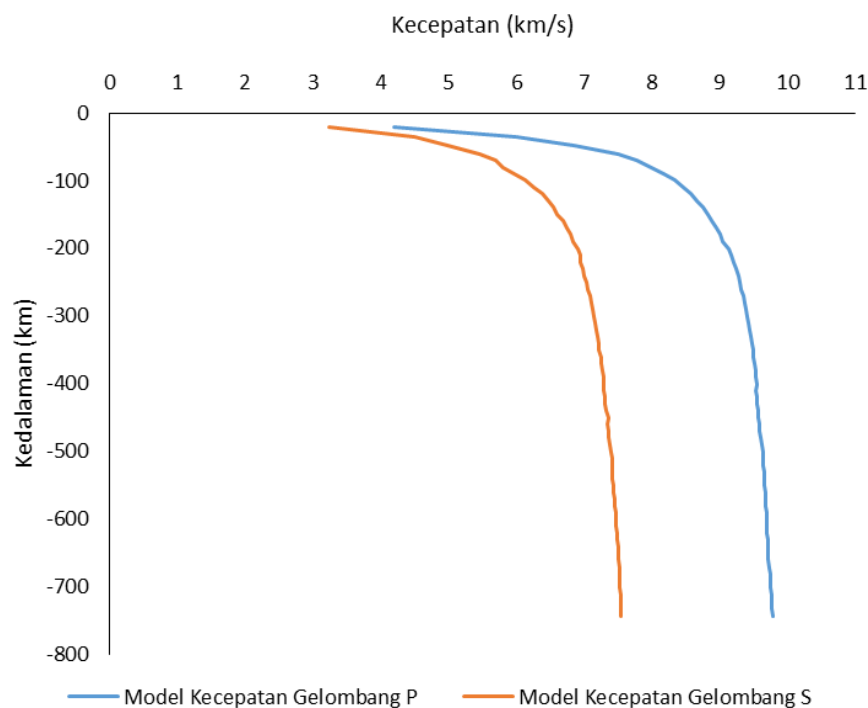
REFERENSI

- Adams, R. D., A. A. Hughes, and D. M. McGregor, 1982. Analysis procedures at the international seismological centre, Phys. Earth Planet. Inier., 30, 85-93
- Badan Geologi, 2011. Potensi dan Pengembangan Sumberdaya Panasbumi Indonesia, Editor R. Sukhyar
- Georgsson, S. L., 2009. Geophysical methods used in geothermal exploration. Lake Naivasha, Kenya
- Gylfi and Axel, 1991. Geophysical exploration for geothermal resources principles and application,

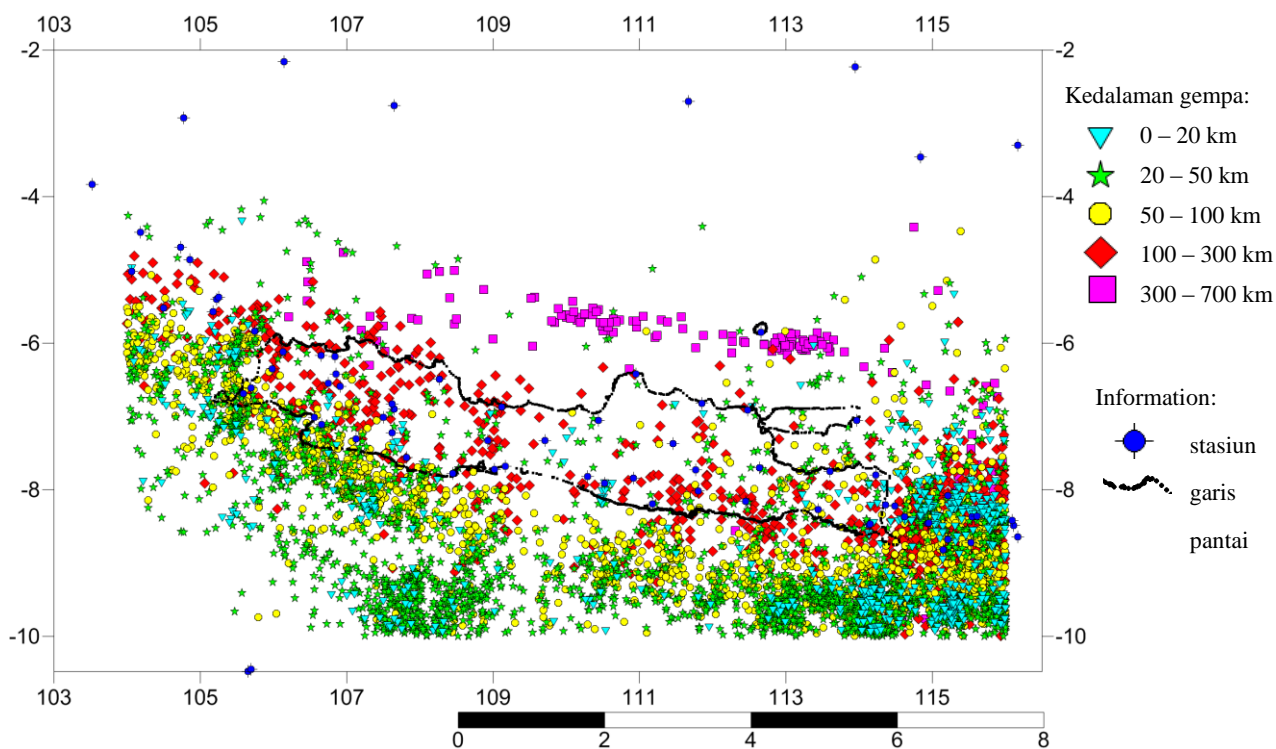
UNU Geothermal Training Programme, Reykjavik, Iceland
 Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS), 2013. Earthscope education and outreach: Seismic tomography, Earthscope
 Jeffreys, H and K.E. Bullen, 1956. Seismological tables, British Association for the Advancement of Science, London
 Koulakov, Ivan, 2012. Code LOTOS-12 for 3D tomographic inversion based on passive seismic data from local and regional events, SB RAS, Prospekt Akademika Koptuga, 3, Novosibirsk, Russia
 Liu, C.S., Curray, J.R., McDonald, J.M., 1983. New constraints on the tectonic evolution of the eastern Indian Ocean. *Earth Planetary Sci. Letters*, 65, 331-342

Longley, I. M., 1997. The tectonostratigraphic evolution of SE Asia, in A. Fraser, S. Matthews, and R. W. Murphy, eds., *Petroleum geology of southeast Asia*: Geological Society of London, Special Publication 126, p. 311-340
 Setijadji, Lucas D., 2010. Segmented volcanic arc and its association with geothermal fields in Java Island, Indonesia, *World Geothermal Congress: Indonesia*
 Silitonga, P.H., 1973. Peta geologi lembar Bandung, Jawa skala 1:100000, Direktorat Geologi, Bandung
 USGS, 2011. Slab models for subduction zones, pada situs <http://earthquake.usgs.gov/data/slab/>, 5 Mei 2016 22:04 WIB
 Wahyuningsih, R., 2005. Colloquium, Field Investigation Results, the Directorate of Mineral Resources Inventory of Indonesia, Bandung

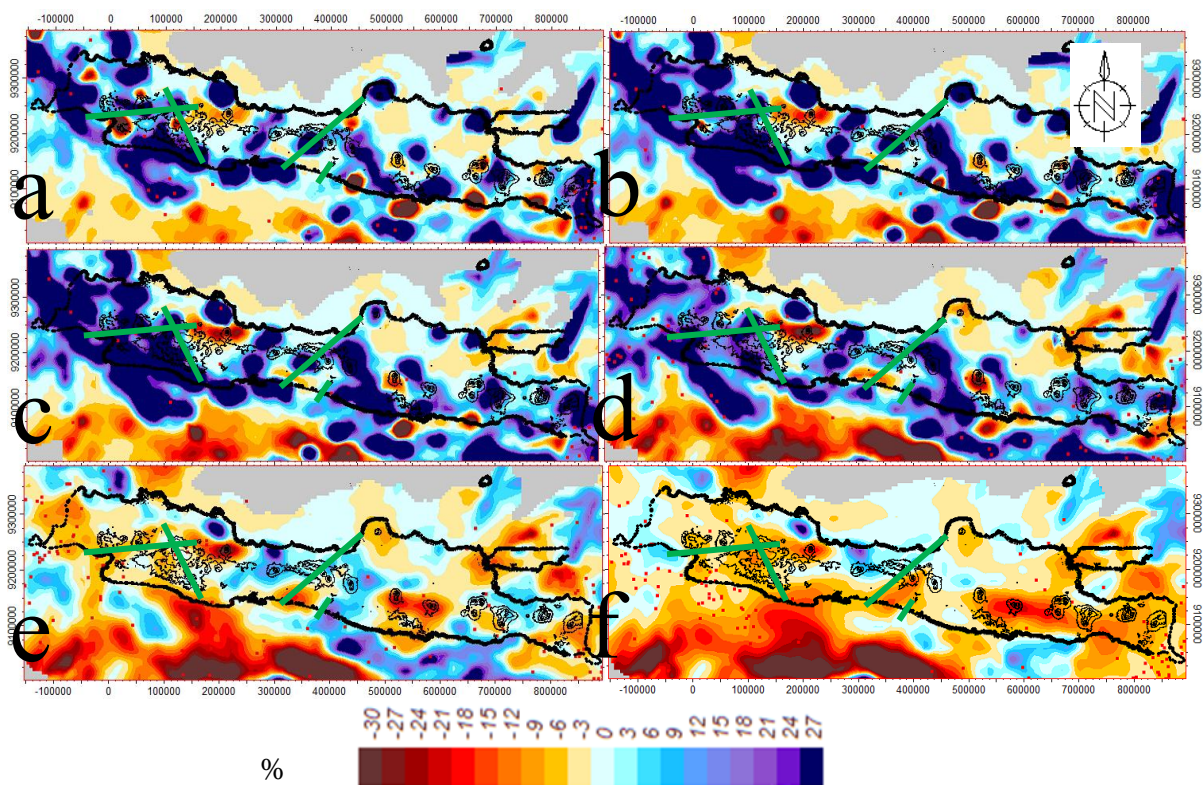
LAMPIRAN GAMBAR



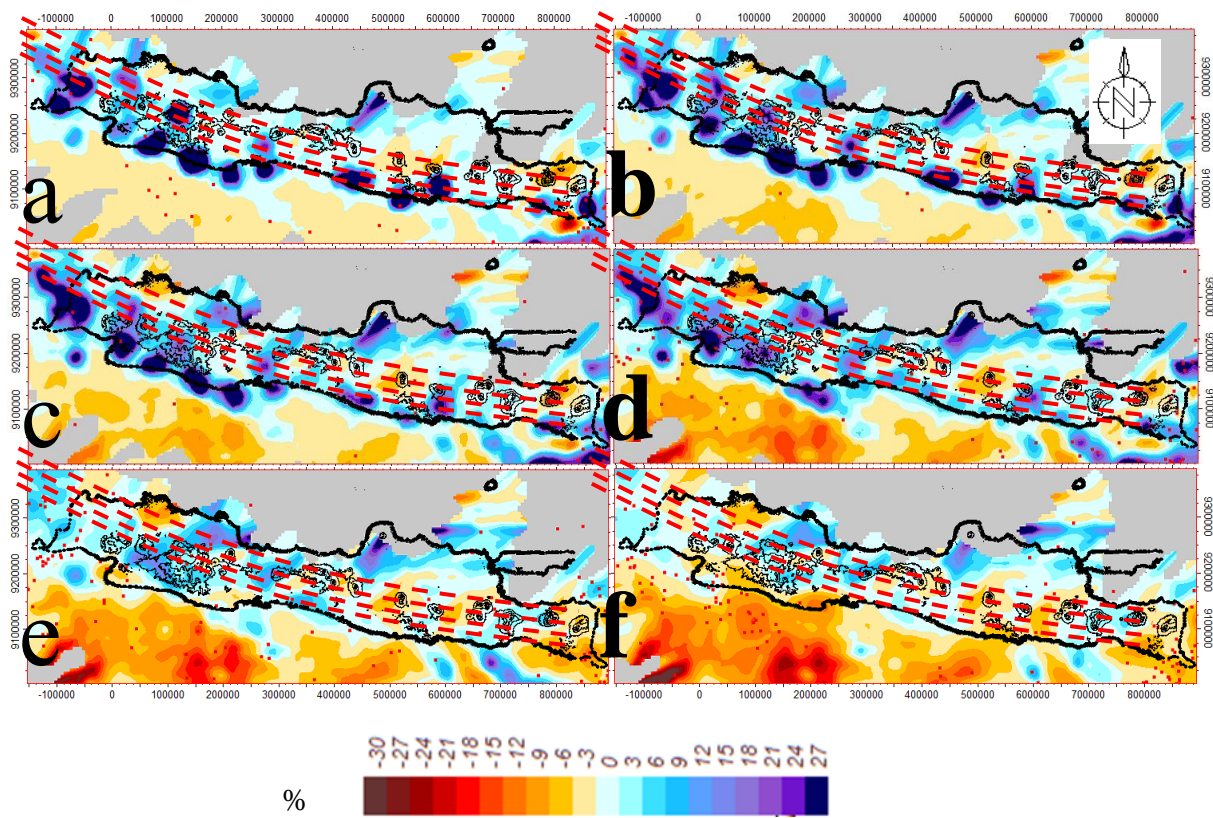
Gambar.1 Model kecepatan Jeffreys-Bullen (Jeffreys and Bullen, 1956)



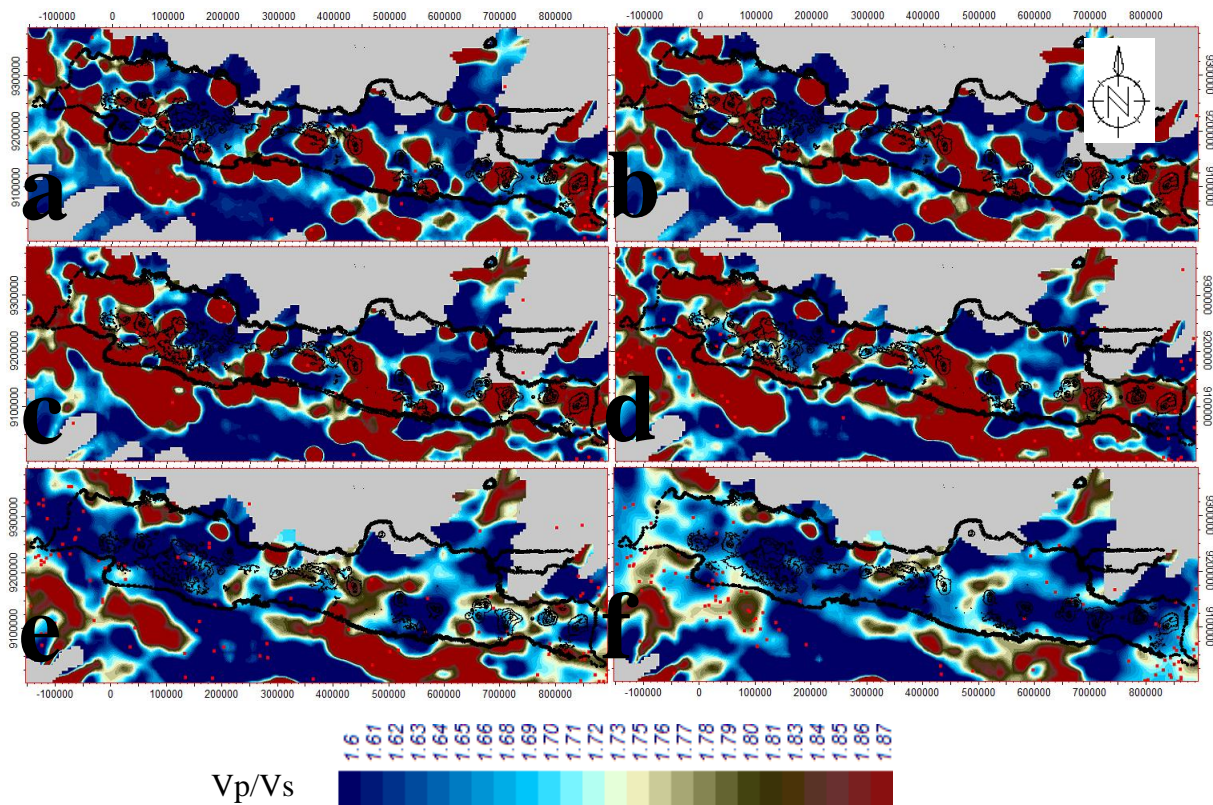
Gambar 2. Distribusi sumber gempa dan stasiun perekaman



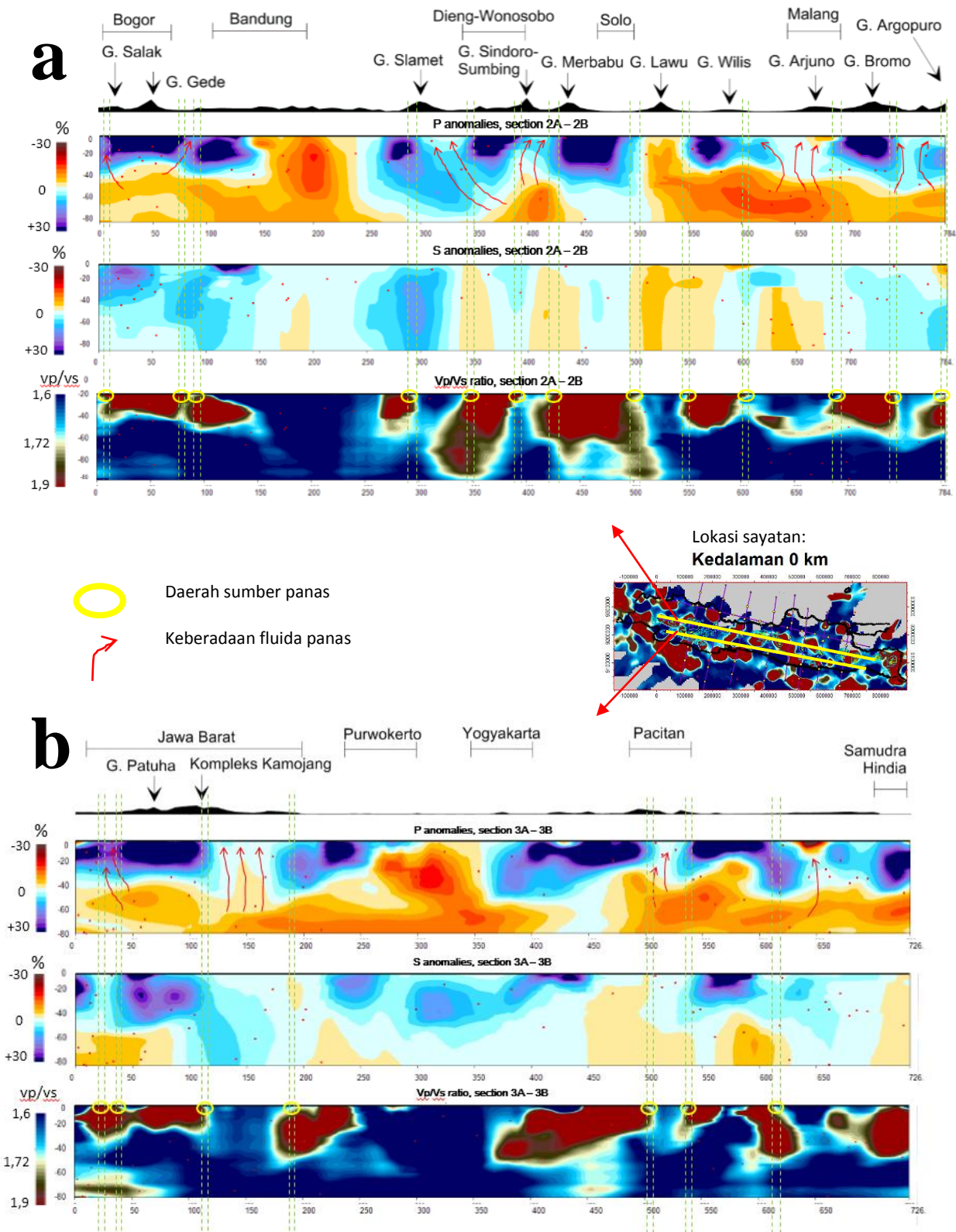
Gambar 3. Anomali gelombang P pada sayatan horisontal di kedalaman 0 km (a), 5 km (b), 10 km (c), 20 km (d), 40 km (e) dan 60 km (f). Garis hijau menunjukkan struktur utama Pulau Jawa (Setijadji, 2010).



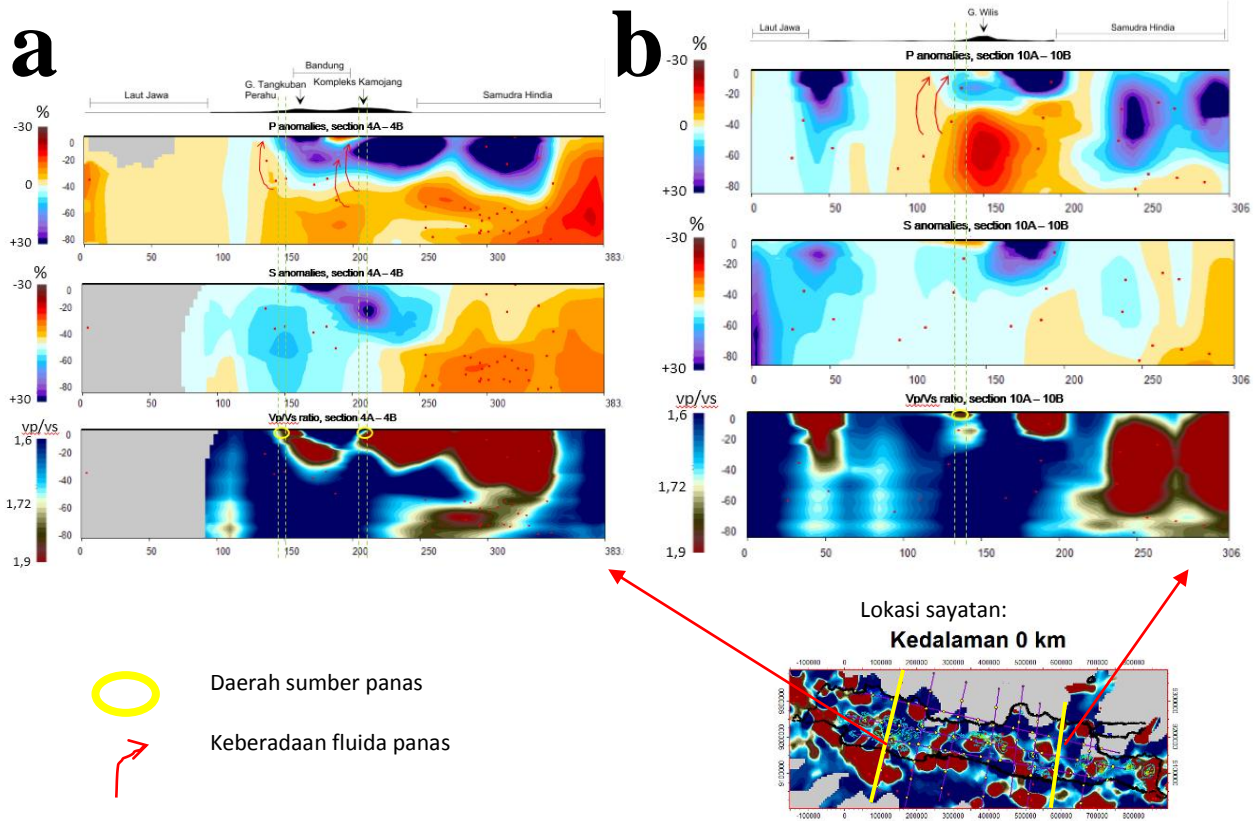
Gambar 4. Anomali gelombang S pada sayatan horisontal di kedalaman 0 km (a), 5 km (b), 10 km (c), 20 km (d), 40 km (e) dan 60 km (f). Garis putus berwarna merah menunjukkan kontur subduksi di bawah Pulau Jawa (USGS, 2011).



Gambar 5. Rasio Vp/Vs pada sayatan horisontal di kedalaman 0 km (a), 5 km (b), 10 km (c), 20 km (d), 40 km (e) dan 60 km (f).



Gambar 6. Korelasi vertikal arah barat-timur terhadap anomali gelombang P, anomali gelombang S, rasio Vp/Vs dan topografi pegunungan untuk mengetahui keberadaan sumber panas pada sayatan 2A-2B (a) dan 3A-3B (b). Kehadiran fluida panas diilustrasikan dengan garis merah yang menuju topografi pegunungan yang bernilai rendah pada anomali gelombang P dan S. Garis hijau putus-putus membantu korelasi untuk penentuan keberadaan sumber panas yang ditunjukkan dengan lingkaran kuning.



Gambar 7. Korelasi vertikal arah utara-selatan terhadap anomali gelombang P, anomali gelombang S, rasio Vp/Vs dan topografi pegunungan untuk mengetahui keberadaan sumber panas pada sayatan 4A-4B (a) dan 10A-10B (b). Kehadiran fluida panas diilustrasikan dengan garis merah yang menuju topografi pegunungan yang bernilai rendah pada anomali gelombang P dan S. Garis hijau putus-putus membantu korelasi untuk penentuan keberadaan sumber panas yang ditunjukkan dengan lingkaran kuning.