

Artikel 1

TATANAN TEKTONIK DAN IMPLIKASI KEGEMPAAN DI PULAU JAWA BAGIAN BARAT DAN SEKITARNYA (Suatu Tinjauan Awal-*Preliminary Study*)

JAYA MURJAYA

Perekayasa Ahli Utama

Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG

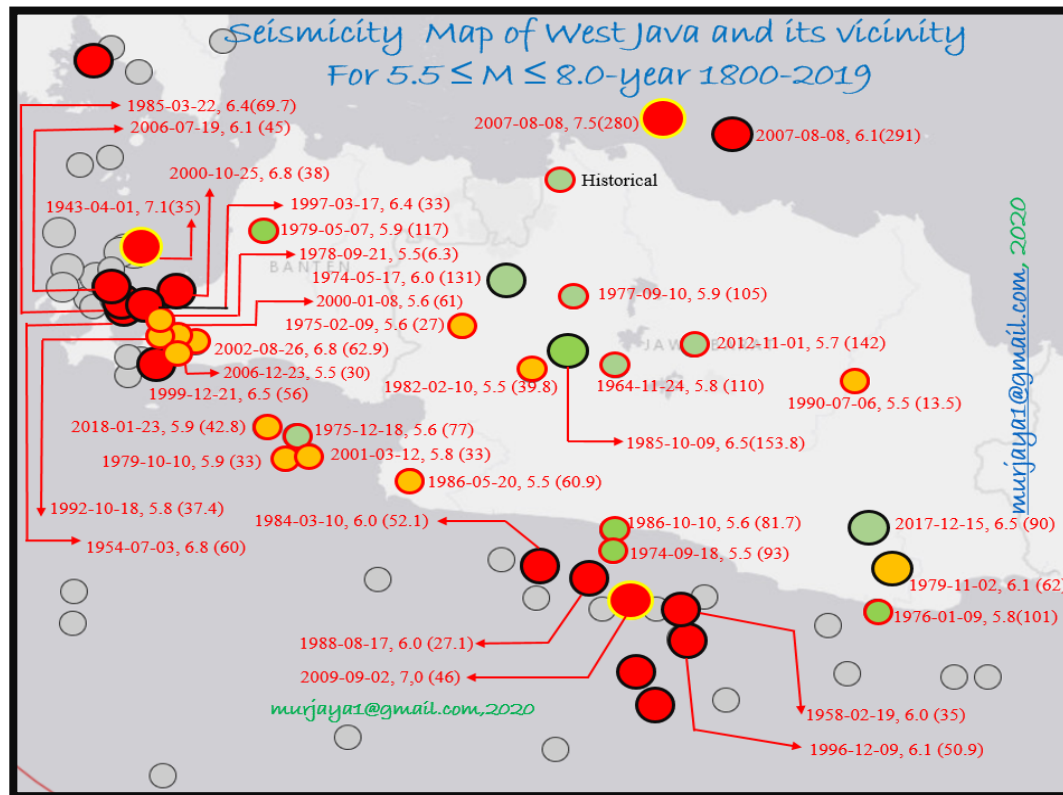
ABSTRAK

Wilayah Jawa Bagian Barat merupakan zona rawan gempa bumi dan disebagian pesisir selatan rawan tsunami. Hal ini sebagai konsekuensi tatanan tektonik adanya subduksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia di selatan Jawa dan banyaknya sesar aktif di daratan berimplikasi tingginya frekuensi gempa bumi di wilayah ini. Berdasarkan analisis kualitatif dan kuantitatif hubungan tektonik dan data kegempaan di wilayah Jawa bagian barat diperoleh adanya implikasi seismisitas yang tinggi, estimasi beberapa parameter ketebalan *slab* menunjam rata-rata sekitar 55-60 km, besarnya gaya lateral tektonik per satuan panjang berorde 10^{13} N/m, besarnya nilai *b* rata-rata 1-1.3 dan estimasi perulangan (*recurrence time-RT*) gempa bumi sesar aktif. RT dengan skenario maksimum kapabel earthquake (MCE) 6.8 (*sliprate* 2 mm/tahun) untuk sesar Lembang sekitar 530 tahun dan sesar Cimandiri dengan skenario MCE 6.7 (*slip rate* 3.5 mm/tahun) mempunyai RT 270 tahun. Prakiraan dampak gempa bumi dengan MCE 6.8 dan 6.7 mempunyai intensitas maksimum di epicenter sekitar VII-VIII MMI, PGA 35 % g dan PGV 30 cm/detik. Hasil studi awal (*Preliminary Study*) ini diharapkan sebagai salah satu masukan atau dapat ditindak lanjuti dengan penelitian yang lebih rinci sehingga dapat dipertimbangkan dalam perencanaan tataruang (*landscape*) jangka panjang sebagai bagian dari upaya mitigasi bencana gempa bumi di wilayah Jawa bagian barat.

LATAR BELAKANG

Perkembangan tektonik di wilayah Indonesia bagian barat sepanjang periode tersier merupakan persepektif dari adanya interaksi antara lempeng Indo-Australia dan Eurasia (Asia). Selama periode tersebut telah mengalami perubahan arah maupun kecepatannya. Hasil akhir sampai saat ini dimana lempeng Indo-Australia masih bergerak relatif ke arah utara terhadap lempeng Eurasia di sepanjang selatan Jawa dan Nusa Tenggara. Sedangkan di wilayah Sumatra relatif gerakan agak menyerong relatif ke arah timur laut. Tapponnier dkk (1982-dalam Asikin, S; 1972) menyebutkan bahwa perkembangan tektonik masa tersier di Asia Tenggara (termasuk Indonesia bagian barat) dipengaruhi oleh gerak fragmen benua Asia (Indo China dan China bagian timur) yang melejit ke arah timur dan tenggara sebagai tumbukan kerak benua India dengan Eurasia. Tatanan tektonik regional di wilayah selatan Jawa bagian barat subduksi lempeng mengalami pembelokan arah di sekitar barat daya selat Sunda menekuk ke arah yang berbeda. Akibatnya tatanan tektonik di wilayah ini lebih kompleks dibandingkan di selatan Jawa. Van Bemmelen (dalam Asikin;1972) beranggapan bahwa zona Banten secara fisiografis lebih mirip dengan sifat-sifat Sumatra bagian selatan dibandingkan dengan sifat-sifat zona di sebelah timurnya. Salah satu yang mendukung anggapan ini bahwa adanya tufa asam dari produk vulkanisme seperti tufa Lampung yang dijadikan dasar anggapan tersebut.

Berdasarkan tatanan tektonik yang demikian di selatan Jawa yang merupakan zona subduksi dengan kecepatan relatif 5-7 cm/tahun (Bock et al, 2000) dan dalam peta ITRF tim Geodysea tahu 1994-1996 memperlihatkan kecepatan relatif gerakan lempeng Indo-Australia terhadap Eurasia sekitar 7.5 cm/tahun. Zona tekukan subduksi di barat daya selat Sunda yang relatif lebih kompleks, kedua zona tersebut menjadi zona pembangkit gempa bumi dangkal dan berkekuatan yang besar serta dapat memicu tsunami. Gempabumi besar selatan Jawa barat yang memicu tsunami adalah gempabumi tahun 2006 (Mw 7.8-*slow earthquake*) dan gempabumi tahun 2009 (Mw 7.3) serta gempabumi kuat tahun 1903 (M 8.1 ?). Disamping itu terdapat jalur-jalur patahan atau sesar aktif di darat Jawa bagian barat yang kerap menimbulkan gempabumi merusak, seperti sesar aktif Cimandiri dan segmennya, sesar Lembang, sesar Ciremai dan lainnya. Pada katalog gempabumi merusak (BMKG, 2019, Badan Geologi, 2008) terjadi puluhan kali gempabumi merusak di wilayah Jawa Bagian Barat, termasuk gempabumi masa lalu (*paleo earthquake*) seperti terlihat pada gambar 1. Sesar-sesar aktif tersebut sudah di petakan dengan baik besaran *geodetic slip rate* atau *slip ratennya*.



Gambar 1: Peta seismisitas gempabumi kuat (lingkaran berwarna merupakan episenter) dan merusak ($5.5 \leq M \leq 8.0$) di wilayah Propinsi Banten dan Jawa Barat. Gempabumi di laut Jawa (warna merah lingkaran kuning) ditulis 2007-08-08, 7.5 (280) yang artinya gempabumi terjadi tanggal 08-08-2007, magnitudo Mw 7.7 dan kedalaman (h) 280 km.

Dengan melihat dari tatanan tektonik, adanya sesar-sesar aktif dan data-data kegempaan masa lalu maka potensi terjadinya perulangan kegempaan (*earthquake recurrence*) sangat mungkin. Waktu perulangan (*Recurrence time*) gempabumi merupakan

salah satu parameter kunci untuk menaksir resiko gempabumi dari model temporal terhadap deformasi kerakbumi. Diharapkan dengan memiliki dan memahami pengetahuan tektonik aktif yang baik suatu wilayah, akan lebih mudah memahami potensi bencana kegempaan yang mungkin akan terulang di masa datang sehingga dapat dijadikan sebagai suatu upaya mitigasi bencana gempabumi. Hasil analisis kuantitatif dan kuantitatif dari kajian awal dalam artikel ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran umum dan sebagai pengetahuan bahan kajian lanjut yang mungkin bisa dijadikan salah satu pertimbangan untuk mendukung perencanaan tataruang atau *landscape* jangka panjang (*longterm*).

DATA DAN METODE

Data gempabumi yang digunakan pada analisis kajian ini adalah data sekunder diambil dari data gempabumi tahun 1964 sampai tahun 2008 (IEESE, 2010), Katalog gempabumi 1900-2019 (BMKG, USGS 2020). Sedangkan data *geodetic slip rate* atau *slip rate* untuk sesar-sesar aktif di Jawa Barat digunakan data dari Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (Pusgen, 2017). Untuk menganalisis suatu tektonik aktif suatu wilayah dapat mempelajari dari sesar-sesar aktif yang terdapat pada wilayah tersebut, data geologi, analisis morfologi dan morfometri, dan data kegempaan. Metode yang digunakan pada penelitian artikel ini adalah deskriptif, kualitatif dan kuantitatif dari hubungan tektonik aktif dan data kegempaan di wilayah Jawa bagian barat (provinsi Jawa Barat, Banten dan Jakarta).

TEORI

Gaya Lateral Tektonik. Analisis mekanisme sumber (*mechanism focal*) hanya dapat mengetahui sifat-sifat gaya penyebab gempabumi yaitu gaya yang bersifat menekan (compression) dan gaya yang bersifat tarikan (*tensional*). Ada beberapa factor sebagai penyebab terjadinya gaya pada proses penunjaman lempeng, yaitu gerakan mantel, gerakan tumbukan antar lempeng, interaksi lempeng yang relatif bergerak terhadap mantel, dan perubahan suhu dan rapat massa lempeng. Faktor-faktor tersebut yang menyebabkan terjadi gaya-gaya penggerak kompleks pada proses penunjaman lempeng.

Dari empiris Mohr-Coulomb, Gerbault (2000) menyebutkan bahwa gaya lateral tektonik persatuan panjang (F) merupakan integrasi dari stress yang bekerja sepanjang ketebalan elastis lempeng (*slab*) dengan sudut kehancuran θ dirumuskan sebagai:

$$F = \int_0^h \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} dy \dots\dots\dots (1)$$

dimana F sebagai gaya lateral persatuan panjang (Nm^{-1}), h ketebalan elastis litosfer (km), σ_1 tekanan kompresi minimum (Nm^{-2}), σ_3 tekanan litostatis (Nm^{-2}), ρ massa jenis lempeng ($kg\ m^{-3}$) dan g percepatan gravitasi ($m\ s^{-2}$). Dengan menguraikan σ_1 dan σ_3 serta ketebalan elastis litosfer di ketahui, maka besarnya gaya per satuan panjang dapat dihitung. Ketebalan elastis litosfer digunakan pendekatan berdasarkan distribusi hiposenter pada irisan penampang vertikal (*cross section*).

Nilai b (b value). Gutenberg dan Richter tahun (1954) membuat hubungan logaritmik antara frekuensi dan magnitude gempabumi dalam bentuk;

$$\text{Log } N = a_1 - b M \text{ atau } N = 10^{a_1 - bM} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana N merupakan jumlah gempabumi dengan magnitude lebih besar dari M yang terjadi dalam suatu periode tertentu. Konstanta a_1 bergantung pada jumlah gempabumi di suatu

tempat dalam periode tertentu dan b merupakan kemiringan atau *slope* dari hubungan tersebut. Nilai b (*b value*) secara fisis menggambarkan karakteristik suatu batuan dan bernilai sekitar 1. Sebagian peneliti banyak yang memakai bentuk kumulatif *Frequency Distribution* yaitu dengan mengintegrasikan persamaan (2). Selain itu perhitungan b value dapat digunakan dengan rumus:

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_o} = \frac{0,4343}{\bar{M} - M_o} \dots\dots\dots (3)$$

dimana \bar{M} harga rata-rata magnitudo gempabumi di suatu tempat, M_o batas bawah magnitudo 4,95 jika menggunakan $M \geq 5,0$. Batas atas dan bawah dari harga b dihitung dengan konfidensial limit 95 % dihitung dengan rumus:

$$\bar{b} = b \left(1 + \frac{1,960}{N} \right) \dots\dots\dots (4a)$$

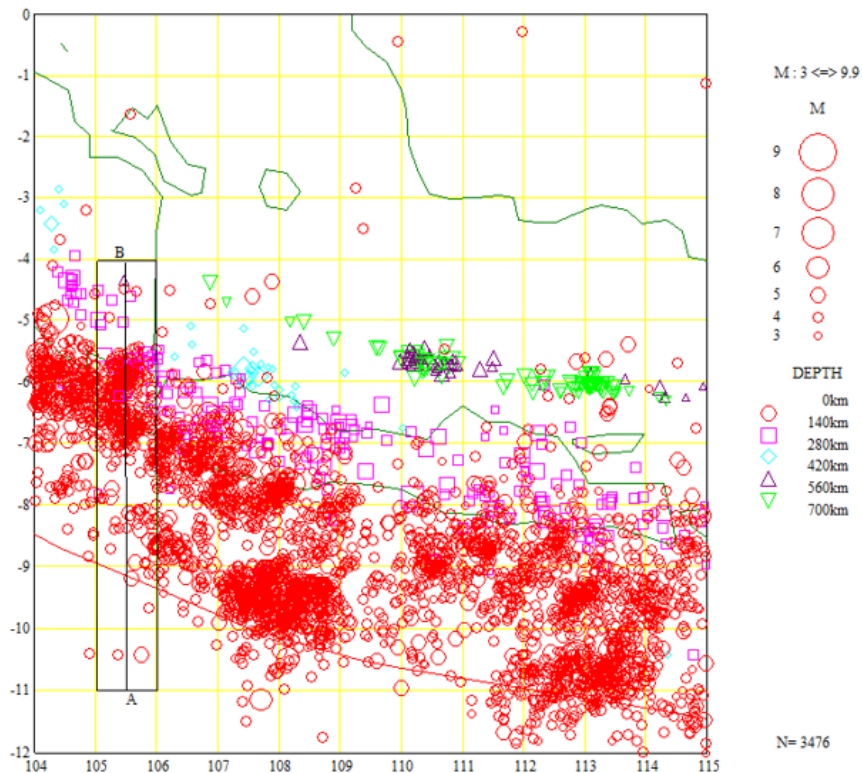
$$\underline{b} = b \left(1 - \frac{1,960}{N} \right) \dots\dots\dots (4b)$$

Nilai a yang berhubungan dengan persamaan (4a) dan (4b) dengan rumus kumulatif *frequency distribution* untuk $M \geq 5,0$ (Soedarmo, 1978);

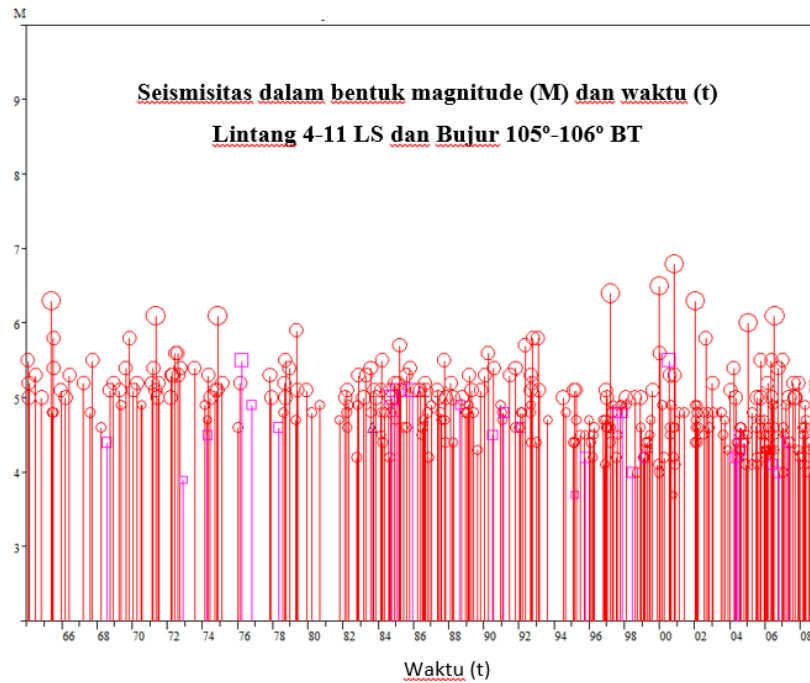
$$a = \log N (M) + \log (b \ln 10) + 5,0 b \dots\dots\dots (5)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 dan gambar 3 merupakan sebaran spasial episenter di wilayah Jawa bagian barat berdasarkan data sumber gempabumi sejak 1964-2008 dan seismistas dalam hubungan magnitudo dan waktu kejadian gempabumi pada lintang 4-11 LS dan 105-106 BT.

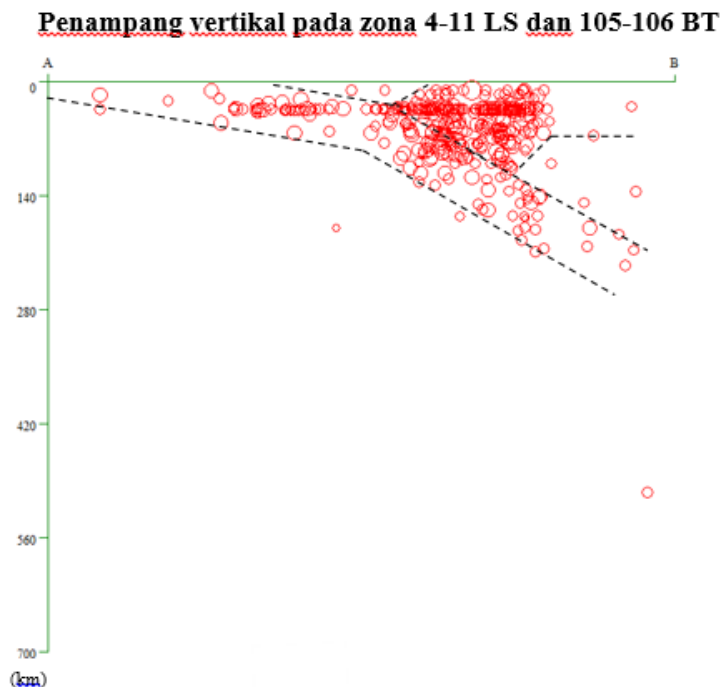


Gambar 2: Sebaran spasial episenter di pulau Jawa dari tahun 1964-2008. Garis A-B akan dibuat Sebaran gempa bumi (seismisitas) dalam hubungan magnitude (M) dan Waktu (t).



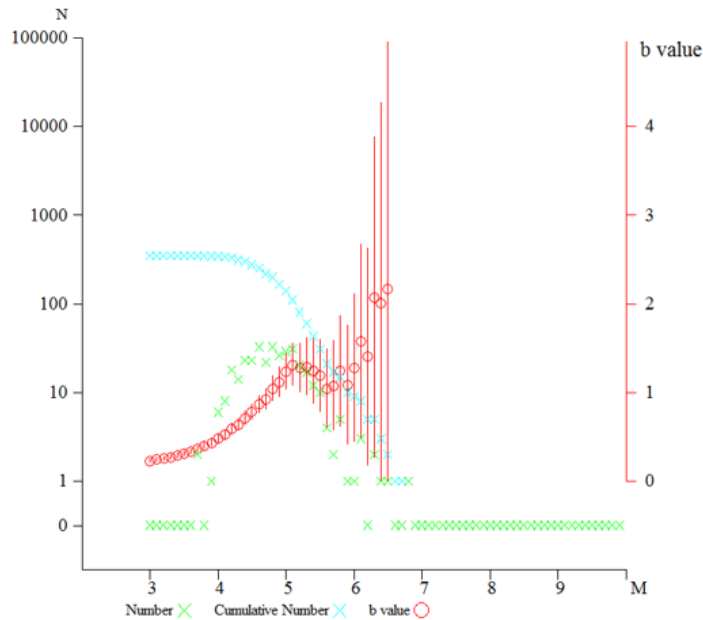
Gambar 3: Seismisitas pada zona 4-11 LS dan 105-106 BT dalam bentuk hubungan Magnitudo (M) dan Waktu (t) kejadian gempa bumi pada zona tersebut.

Gambar 4 merupakan irisan penampang vertikal zona A-B lintang 4-11 Ls dan 105-106 BT.



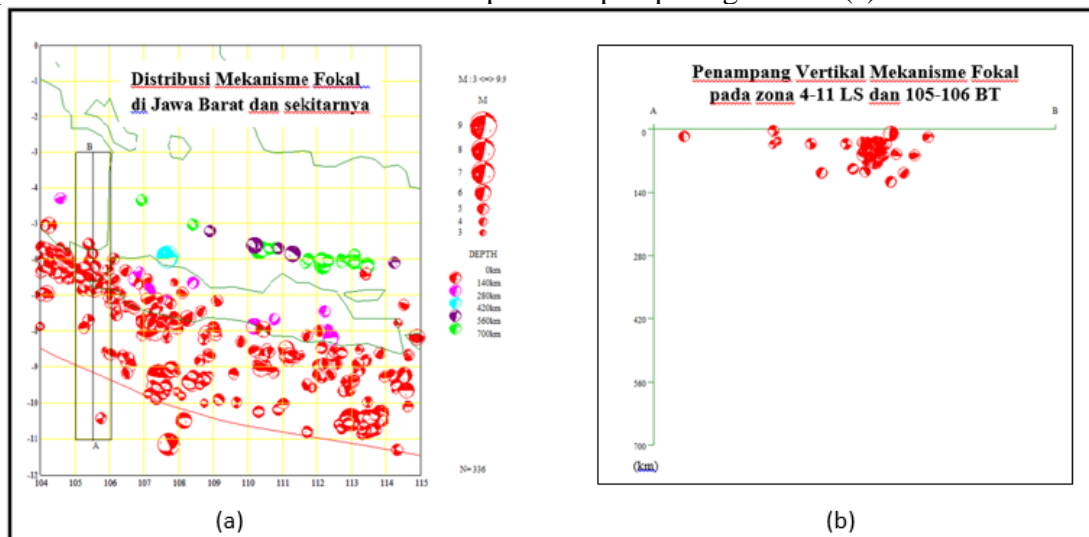
Gambar 4: Irisan penampang vertikal arah selatan-utara gambar 2. Ketebalan kerak elastis bumi di estimasi dari sebaran hiposenter. Harga b (b value) pada zona lintang 4-11 LS dan 105-106 BT berkisar antara 1-1.5 seperti terlihat pada gambar 5.

Grafik b value untuk zona 4-11 LS dan 105-106 BT



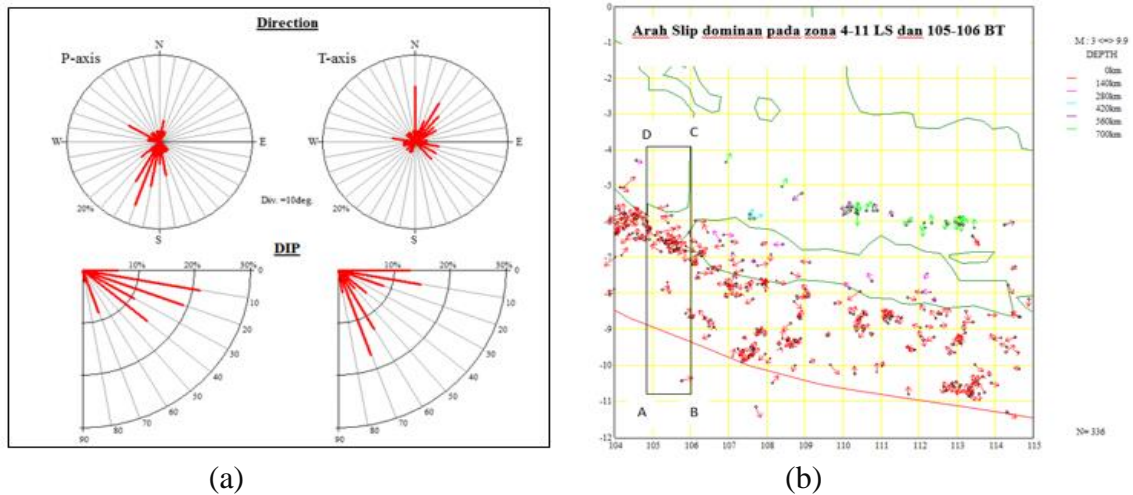
Gambar 5: Grafik b value untuk penampang zona 4-11 LS dan 105-106 BT. Harga b rata-rata pada zona tersebut berkisar 1-1.5

Mekanisme sumber gempa bumi (*focal mechanism*) untuk wilayah Jawa Barat dan sekitarnya di petakan dalam gambar 6(a). Gambar 6 (b) merupakan penampang vertikal irisan AB pada zona 4-11 LS dan 105-106 BT seperti tampak pada gambar 6(a).



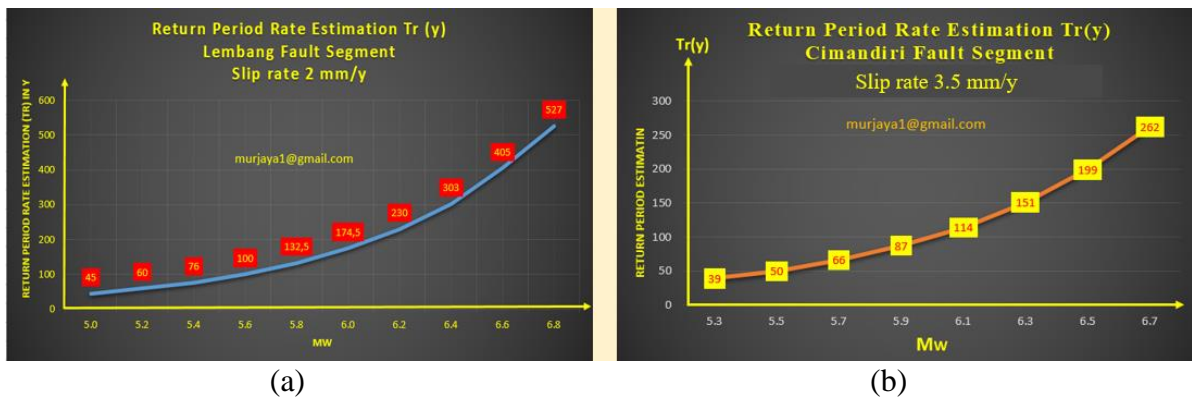
Gambar 6: (a) Mekanisme sumber gempa bumi (*focal mechanism*) untuk wilayah Jawa Barat dan sekitarnya. (b) merupakan penampang vertikal irisan AB zona 4-11 LS dan 105-106 BT.

Dalam kajian untuk mempelajari arah P-axis dan T-axis serta arah Dip nya pada zona irisan AB gambar 6(a) terlihat seperti gambar 7 (a). Gambar 7 (b) merupakan *slip vector* pada zona kajian dan sekitarnya.



Gambar 7: (a) estimasi arah P-axis dan T-axis serta arah Dip nya pada zona irisan AB gambar 6(a). (b) merupakan merupakan *slip vector* pada zona kajian dan sekitarnya.

Untuk membuat estimasi waktu perulangan (*recurrence time*) suatu gempa bumi dari sesar aktif digunakan data *GSR* atau *slip rate* dan *MCE*. Gambar 8 merupakan grafik estimasi *recurrence time* (*RT*) menggunakan data *GSR* dan skenario *MCE* sesar lembang Mw 6.8 dan sesar Cimandiri Mw 6.7.



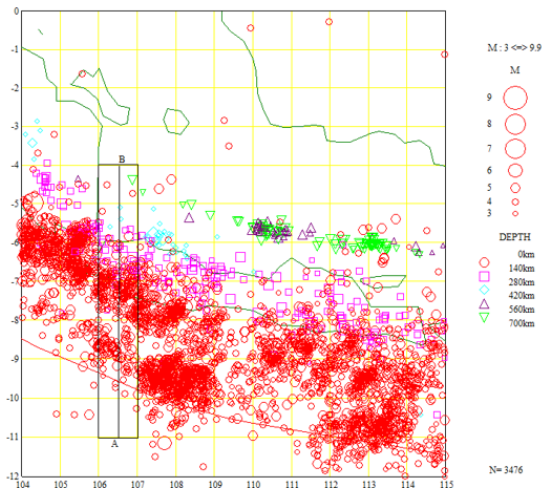
Gambar 8 : (a) Grafik estimasi waktu perulangan (*recurrence time-RT*) sesar aktif Lembang berdasarkan data geodetic slip rate (*GSR*) 2 mm/y dan *maximum credible earthquake* (*MCE*) Mw 6.8. Dihasilkan untuk Mw 6.8, estimasi RT nya sekitar 527 tahun dan untuk Mw lebih kecil, maka RT lebih cepat. (b) Grafik estimasi RT sesar aktif Cimandiri dengan *GSR* 3.5 mm/y dan *MCE* 6.5 diperkirakan RT sekitar 262 tahun.

Selanjutnya untuk menaksir efek guncangan gempa bumi sesar Lembang dengan menggunakan skenario *MCE* Mw 6.8, dan kedalam hiposenter (*h*) 5 km dan 15 km. Efek guncangan gempa bumi tersebut dibedakan menjadi dampak guncangan gempa bumi (*shakemap*) dalam skala *Modified Mercalli Intensity* (*MMI*), Percepatan Maksimum Tanah

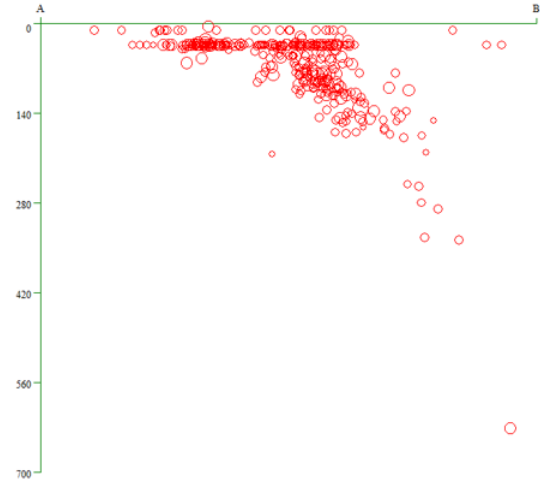
Gambar 10: (a) Peta estimasi Percepatan Maksimum tanah (PGA) dengan MCE Mw 6.8 dan h 5 km. (b) Peta estimasi Kecepatan Maksimum Tanah (Peak Ground Velocity-PGV) dengan MCE Mw 6.8 dan h 5 km.

Dengan cara yang sama diatas (gambar 1-7), analisis kuantitatif untuk zona bujur 106-107 BT (4-11 LS), 107-108 BT (4-11 LS) dan 108-109 BT (4-11 LS) dapat dilihat pada gambar 11, 12 dan 13 dibawah.

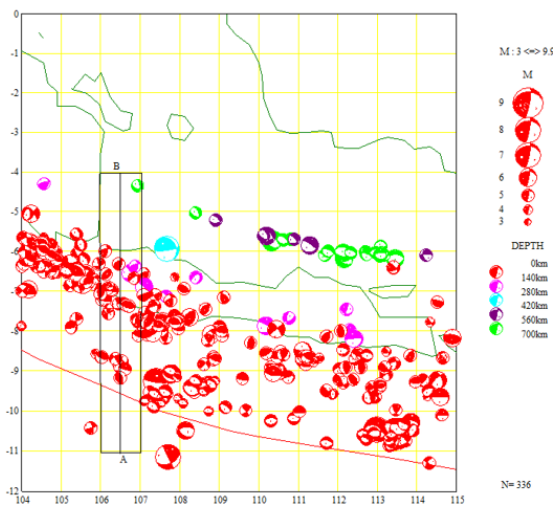
SEISMISITAS DAN IMPLIKASI LAINNYA DAERAH 4 - 11 LS; 106 - 107 BT



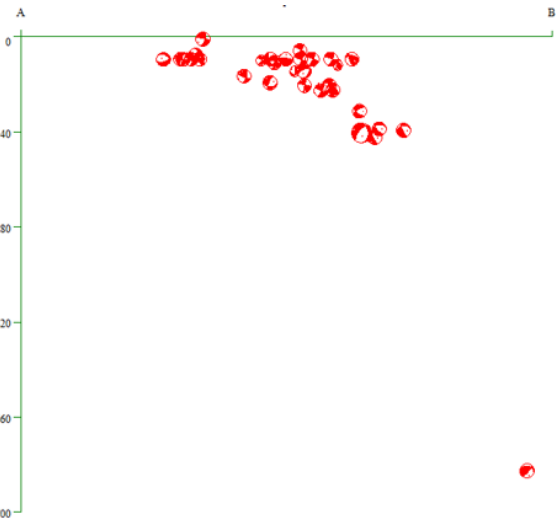
11.a



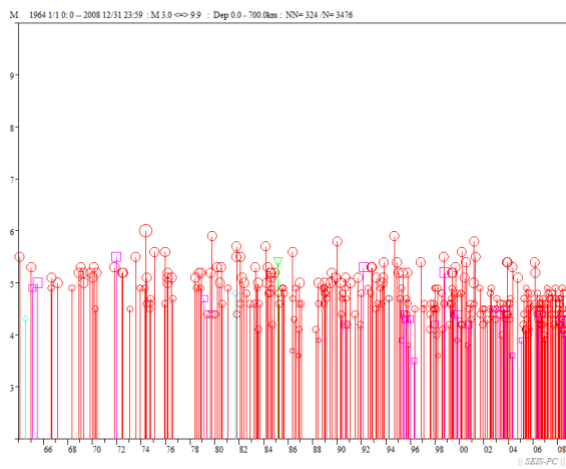
11.b



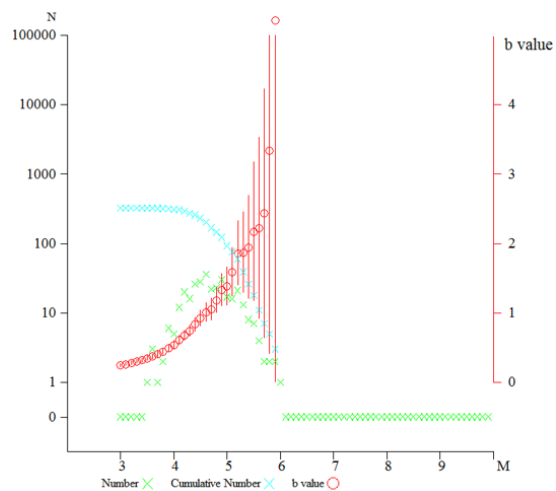
11.c



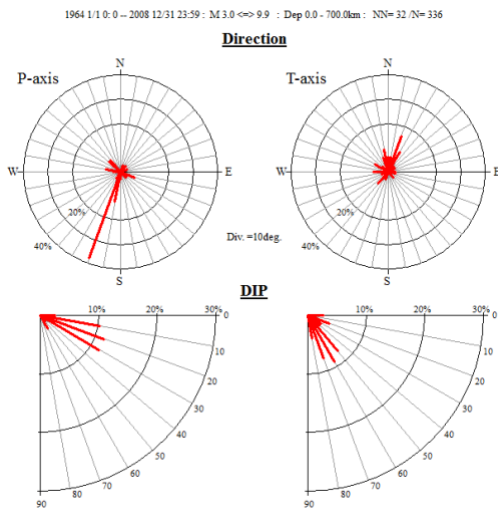
11.d



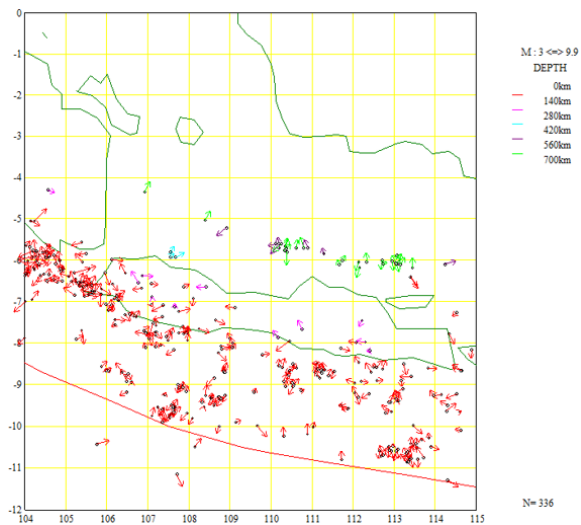
11.e



11.f



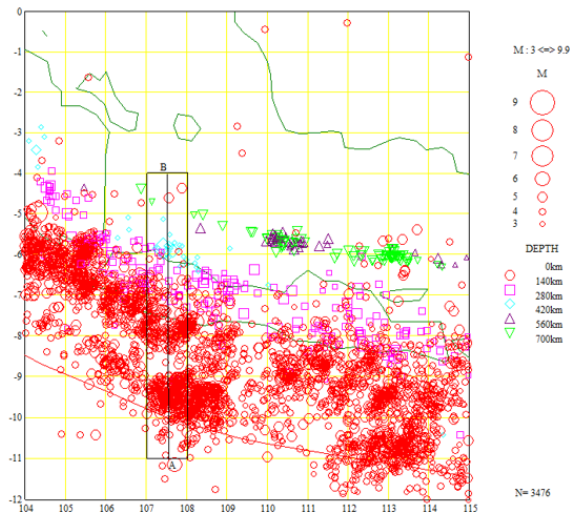
11.g



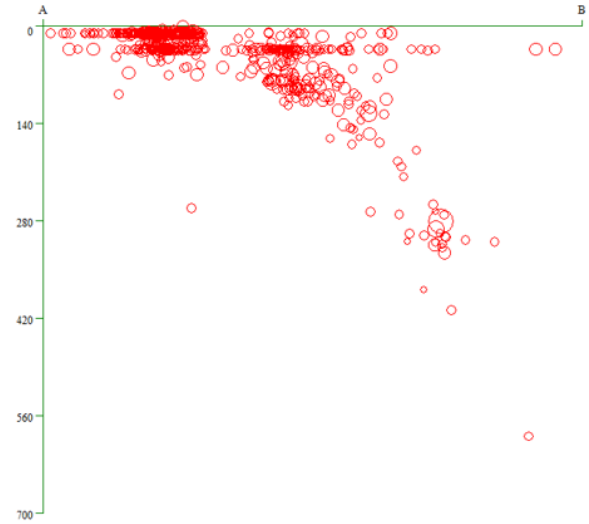
11.h

Gambar 11: a Distribusi gempabumi di pulau Jawa. b Penampang vertikal irisan AB gambar a (garis bujur 106°-107° BT). c Distribusi Mekanisme focal di pulau Jawa. d Penampang vertikal Mekanisme Fokal irisan AB gambar c. e Distribusi magnitudo terhadap waktu gempa dalam kotak irisan AB gambar a. f grafik b value zona(kotak) irisan AB gambar a. g arah rata-rata P-axis dan Dip, dan T-axis dan dip. h distribusi slip vector di pulau Jawa.

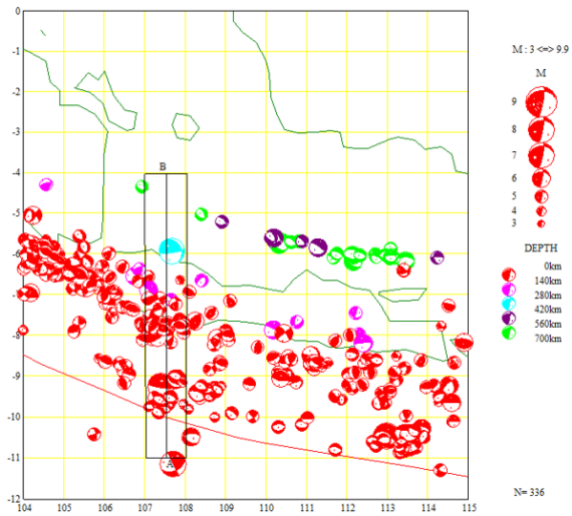
SEISMISITAS DAN IMPLIKASI LAINNYA DAERAH 4 - 11 LS; 107-108 BT



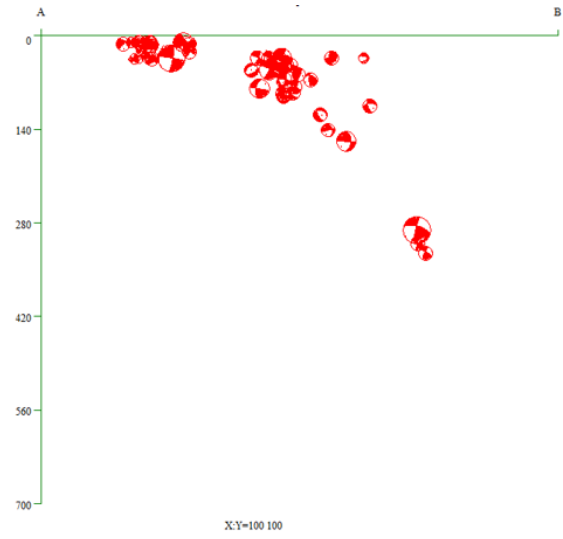
12 a



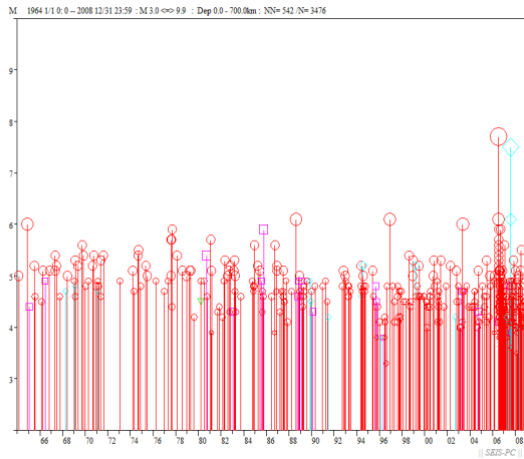
12 b



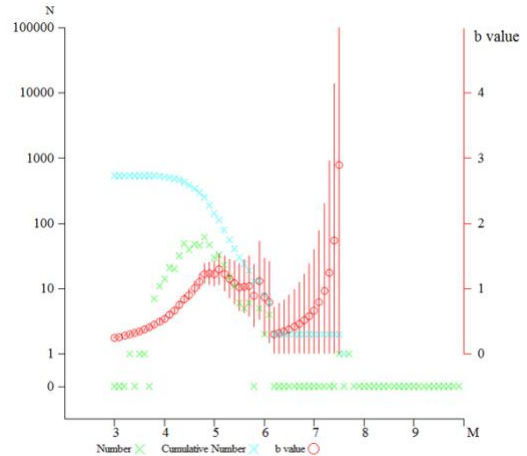
12 c



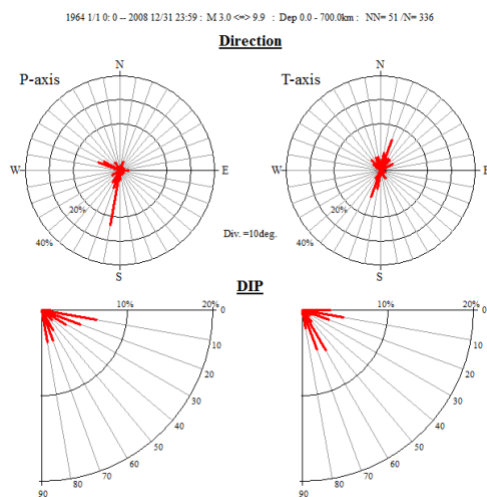
12 d



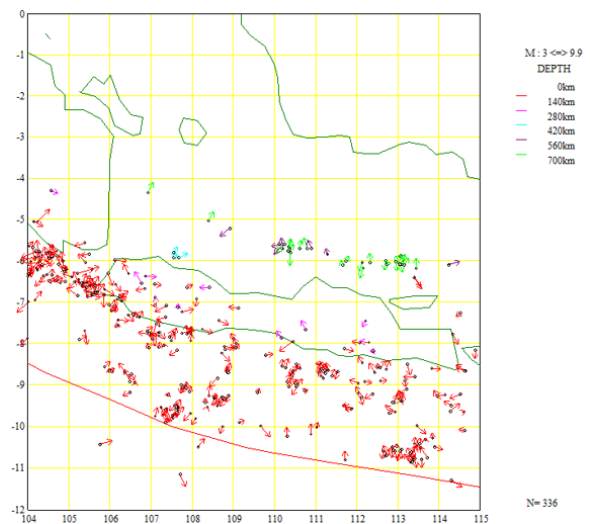
12 e



12 f



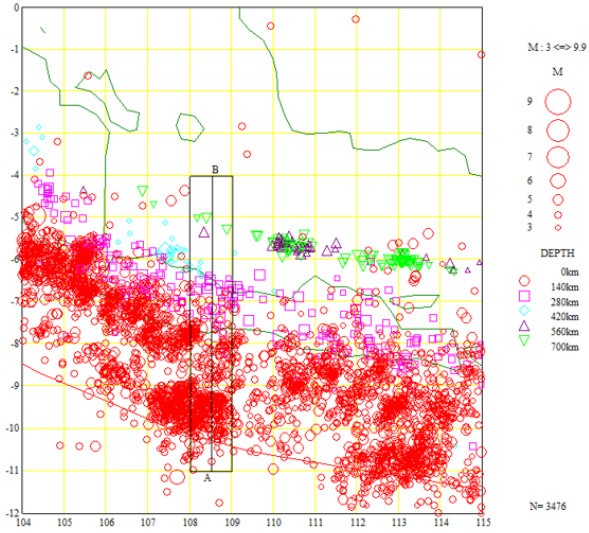
12 g



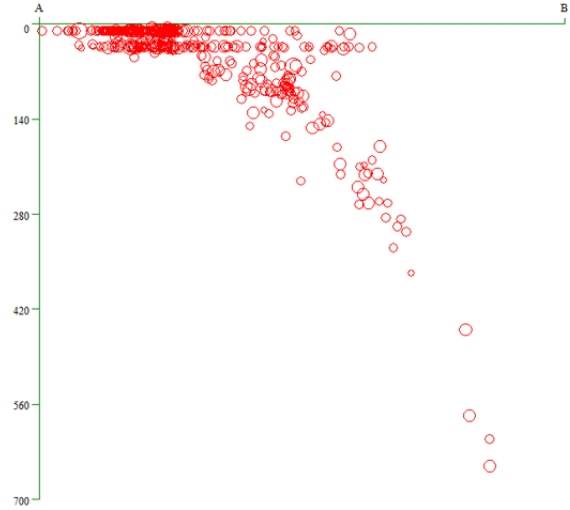
12 h

Gambar12: a Distribusi Gempabumi di pulau Jawa. b Penampang vertikal irisan AB gambar a (garis bujur 107° - 108° BT). c Distribusi Mekanisme focal di pulau Jawa. d Penampang vertikal Mekanisme Fokal irisan AB gambar c. e Distribusi magnitudo terhadap waktu gempa dalam kotak irisan AB gambar a. f grafik b value zona(kotak) irisan AB gambar a. g arah rata-rata P-axis dan Dip, dan T-axis dan dip. h distribusi slip vector di pulau Jawa.

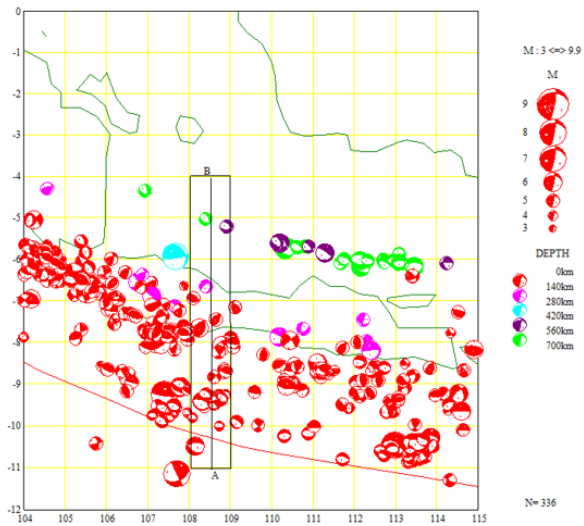
SEISMISITAS DAN IMPLIKASI LAINNYA DAERAH 4 - 11 LS; 108 - 109 BT



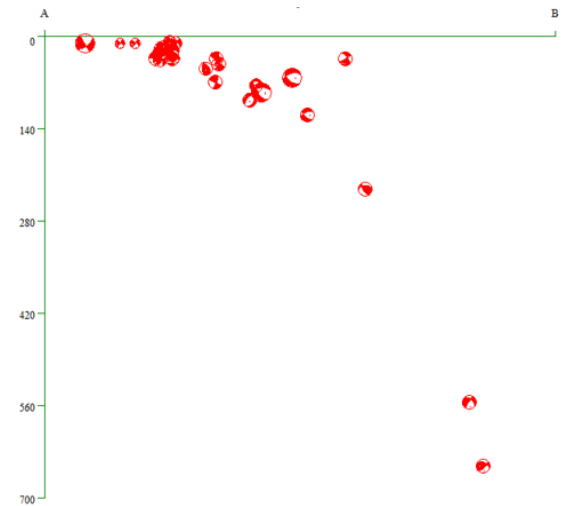
13 a



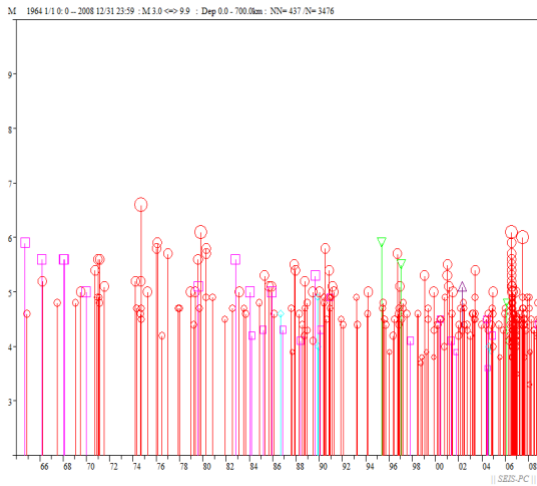
13 b



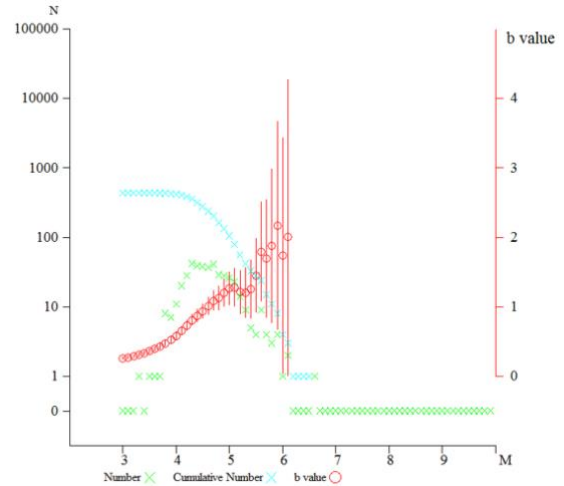
13 c



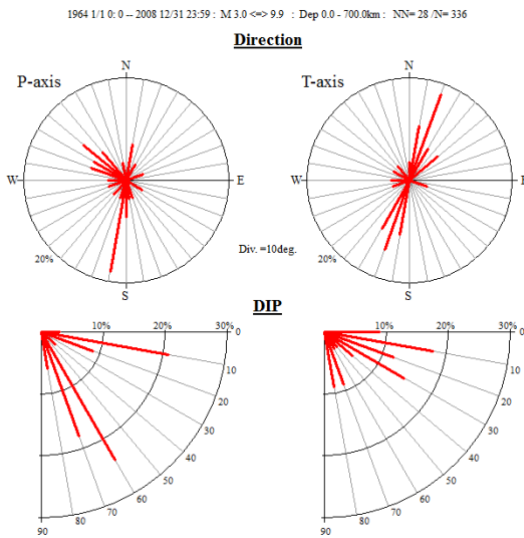
13 d



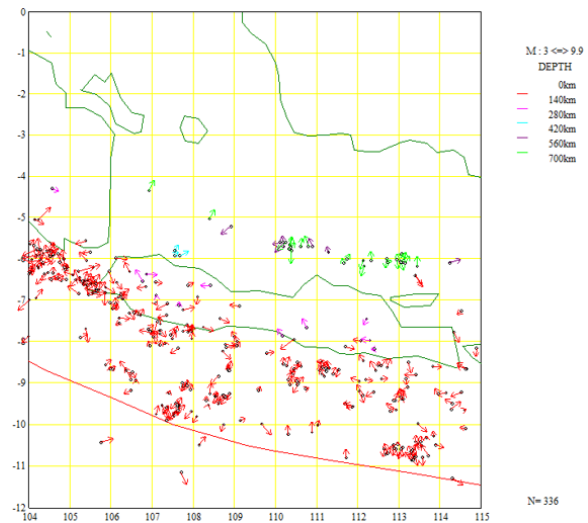
13 e



13 f



13 g



13 h

Gambar13: a Distribusi Gempabumi di pulau Jawa. b Penampang vertikal irisan AB gambar a (garis bujur 108°-109° BT). c Distribusi Mekanisme focal di pulau Jawa. d Penampang vertikal Mekanisme Fokal irisan AB gambar c. e Distribusi magnitudo terhadap waktu gempa dalam kotak irisan AB gambar a. f grafik b value zona(kotak) irisan AB gambar a. g arah rata-rata P-axis dan Dip, dan T-axis dan dip. h distribusi slip vector di pulau Jawa.

PEMBAHASAN

Berdasarkan gambar 1 dan gambar 2 wilayah Jawa bagian barat merupakan wilayah aktif gempabumi baik gempabumi akibat interaksi lemping tektonik Indo-Australia dengan Eurasia, maupun akibat aktivitas sesar aktif darat. Gempabumi akibat interaksi lempeng tektonik Indo-Australia dengan Eurasia paling tidak 3 kali memicu terjadinya tsunami 1921, 2006 dan 2009 dalam katalog gempabumi BMKG (2019) dan Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia tahun 1629-2007. Dari sebaran gempabumi pada garis bujur 105°-106° BT

(lintang 4° - 11° LS) dapat dibuat penampang vertikal (*cross section*) untuk mengestimasi ketebalan elastis litosfer (Gerbault, 2000). Ketebalan elastis litosfer rata-rata di estimasi berdasarkan penampang vertikal sebaran hiposenter seperti gambar 4, 11 b, 12 b dan 13 b. Ketebalan elastis litosfer garis lintang 4° - 11° LS untuk masing-masing bujur 105° - 106° BT, 106° - 107° BT, 107° - 108° BT dan 108° - 109° BT rata-rata diperkirakan sekitar 50 km sampai dengan 60 km.

Nilai parameter ketebalan elastis litosfer selanjutnya digunakan untuk menganalisis besarnya gaya lateral tektonik per satuan panjang berdasarkan persamaan (1). Dengan memasukan rata-rata nilai batas ketebalan elastis (55 - 60 km) pada persamaan (1), besarnya gaya lateral persatuan panjang berkisar antara 9.78×10^{13} N/m - 10.16×10^{13} N/m. Besarnya gaya lateral tektonik dengan orde 10^{13} N/m sesuai dengan gaya rata-rata yang dianalisis oleh Gerbault dan kawan-kawan (2000) untuk wilayah lautan Hindia besarnya sekitar 3×10^{13} N/m, di Asia Tengah 5.4×10^{13} N/m dan di Australia 10^{14} N/m. Murjaya, dkk (2009) menggunakan empiris Mohr-Coulomb mengestimasi besarnya gaya lateral tektonik di Sumatra dengan memperhitungkan kemiringan subduksi mendapat nilai berkisar antara $1.44 - 6.76 \times 10^{13}$ N/m.

Sebaran Mekanisme fokus gempa bumi pada garis bujur 105° - 106° BT (lintang 4° - 11° LS) untuk sumber dangkal dapat dilihat pada penampang vertikal gambar 6b, 11d, 12d dan 13d. Pada gambar 11b dan 11d pada irisan garis bujur 106° - 107° BT terlihat bahwa kedalaman gempa bumi mencapai kedalaman antara 500-600 km dimana menandakan bahwa ada kerak lautan (*oceanic crust*) yang menunjam sampai kedalaman tersebut. Sedangkan pada gambar 13b dan 13d pada irisan garis bujur 108° - 109° BT penunjaman *oceanic crust* bisa mencapai kedalaman antara 600-700 km. Proyeksi hiposenter gempa bumi dalam tersebut epicenter (di permukaan) nya terletak di wilayah laut Jawa (sebelah utara Jawa bagian Barat). Gempa bumi kedalaman menengah yang terjadi di laut Jawa bisa menimbulkan kerusakan di wilayah daratan yang jauh dari episenter. Kerusakan ini bisa dijelaskan dengan mekanisme penjalaran energi gempa bumi merambat sepanjang kerak yang menunjam dari sumber ke permukaan. Oleh karena itu kerusakan bisa terjadi bukan hanya pada daerah dekat dengan episenter tetapi bisa ke daerah yang lebih jauh dari episenter. Fakta ini berdasarkan data dua kejadian gempa bumi kedalaman menengah di lepas pantai utara Jawa Barat tanggal 8 Agustus 2007 Mw 7.5 dengan kedalaman 280 km dan Mw 6.1 dengan kedalaman 291 km kerusakan terjadi di daerah Sukabumi yang jauh dari episenter. Ada beberapa kemungkinan penyebab kerusakan tersebut, diantaranya bisa karena faktor efek lokasi (*site effect*) dan lokasi kerusakan tepat pada di atas bidang kontak antara *slab* (*oceanic crust*) yang menyusup dengan kerak benua (*continental crust*-daratan) sehingga memungkinkan energi menjalar sepanjang *slab* dari focus memberikan efek getaran yang signifikan pada infrastruktur yang berada tepat di atas bidang kontak tersebut atau kombinasi dari ke dua faktor tersebut.

Harga b (*b value*) berkisar antara 1-1.2, 2.5, 1-1.2 dan 1.2-1.3 pada garis lintang 4° - 11° LS untuk masing-masing bujur 105° - 106° BT, 106° - 107° BT, 107° - 108° BT dan 108° - 109° BT. Penelitian Soedarmo (1978) menggunakan data tahun 1897-1973 mendapatkan nilai b sekitar 0.76 untuk wilayah Jawa Barat dan Sumatra bagian selatan. Ida Bagus dan kawan-kawan (2018) telah menghitung b value sekitar 0.8 dan 1.25 untuk beberapa kluster di selatan Jawa. Sedangkan Linda dan kawan-kawan (2019) menghitung nilai b untuk wilayah Jawa Barat dan sekitarnya mendapatkan nilai b sekitar 0.81.

Untuk mengestimasi waktu perulangan digunakan data *geodetic slip rate* atau *slip rate* dengan *maximum credible earthquake* (MCE) atau skenario potensi maksimum magnitudo 6.8 (sesar Lembang) dan skenario maksimum magnitudo 6.7 (sesar Cimandiri). Frederick C.

Davidson dan Christopher H. Schole [1985], menghitung waktu perulangan sebuah gempa bumi dengan membagi moment seismik dengan fungsi waktu sumber atau akumulasi rata-rata momen seismik. Disampaikan dalam berbagai diskusi ilmiah para ahli mengatakan gempa bumi besar akibat aktivitas sesar Lembang terjadi sekitar tahun 60 SM (Sebelum Masehi), dan terakhir antara tahun 1450 an (Mudrik, 2021) - 1500 (Yulianto, 2016). Artinya selama 520 sampai 570 tahun belum ada perulangan gempa bumi besar akibat sesar Lembang.

Besarnya *slip rate* sesar Lembang 2 mm/tahun (Pusgen, 2017) dan 2-4 mm/tahun (Meilano, 2011). Studi geodesi yang dilakukan oleh Abidin dkk (2008, 2009) memperkirakan *slip rate* sesar Lembang 3-14 mm/tahun dan Meilano dkk (2012) mendapatkan 6 mm/tahun. Penelitian dengan metode tektonik geomorfologi dan paleoseismologi yang dilakukan oleh Mudrik.R.D (2016) mendapatkan nilai *slip rate* sesar lembang 2-6 mm/tahun. Dalam analisis kuantitatif untuk mengestimasi besarnya waktu perulangan (*Recurrence Time-RT*) gempa bumi sesar Lembang, pada artikel ini digunakan data besarnya *slip rate* 2 mm/tahun dan skenario MCE Mw 6.8. Dengan menggunakan scaling law dalam seismologi dan diperoleh nilai RT sekitar 530 tahun seperti di jelaskan pada gambar 8(a). Untuk sesar Cimandiri Pusgen (2017) menjelaskan bahwa *slip rate* sesar Cimandiri 2-5 mm/tahun atau rata-rata dari *slip rate* 3.5 mm/tahun. Dengan cara yang sama diatas maka diperoleh estimasi nilai RT antara 180-460 tahun atau rata-rata sekitar 262 tahun dengan skenario MCE 6.7 seperti di jelaskan pada gambar 8(b).

Salah satu efek sekunder gempa bumi adalah dampak guncangan terhadap infrastruktur yang ada di permukaan bumi. Dampak guncangan gempa bumi yang dinyatakan dalam intensitas pada skala MMI. Gambar 9 (a) dan 9 (b) merupakan dampak guncangan akibat gempa bumi dengan skenario Mw 6.8 pada kedalaman(h) 5 km dan 15 km berdasarkan model. Skenario h 5 km merupakan skenario terburuk dari gempa bumi dengan Mw 6.8 mencapai skala VII-VIII MMI di zona epicenter. Gambar 10 (a) dan 10 (b) merupakan model PGA dan PGV yang dikibatkan scenario gempa bumi Mw 6.8 dan h 5 km akibat gempa bumi strike slip. Besarnya PGA (h 5 km dan Mw 6.8) mencapai 35 % g dan PGV 30 cm/det di zona episenter. Sumber gempa bumi (hiposenter) dianggap suatu titik dan mekanisme fokal nya strike slip. Model ini hanya menganggap hiposenter merupakan sebuah titik dan gempa bumi terjadi tepat pada zona sesar Lembang belum memasukan variable lain yang kemungkinan bisa mempengaruhi dampak guncangan.

KESIMPULAN

Dengan memperhatikan tatanan tektonik dan implikasinya, wilayah pulau Jawa bagian barat merupakan salah satu daerah rawan gempa bumi dan tsunami. Sumber lokasi gempa bumi dapat berasal dari zona subduksi dan sesar-sesar aktif di daratan sebagai sumber gempa bumi di wilayah ini. Berdasarkan hal tersebut diatas dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Interaksi konvergen lempeng tektonik di selatan Jawa bagian barat dimana lempeng Indo-Australia menyusup ke bawah lempeng Eurasia sampai kedalaman hampir 700 km. Terdapat gempa bumi kedalaman menengah di sepanjang lempeng tektonik yang menyusup, masih memungkinkan menimbulkan kerusakan di wilayah yang jauh dari epicenter seperti gempa bumi tahun 2007 dengan Mw 7.5 dan kedalaman 280 km menimbulkan kerusakan di wilayah Sukabumi yang jauh dari episenter dengan beberapa kemungkinan penyebab kerusakan tersebut dan mekanisme penjaralan gelombang seperti di terangkan diatas.

2. Dengan mengasumsikan ketebatan rata-rata lempeng tektonik yang menyusup antara 55 – 60 km di pada wilayah kajian, maka besarnya gaya lateral tetonik per satuan panjang mempunyai orde 10^{13} N/m. Nilai ini masih bersesuaian dengan gaya rata-rata yang dianalisis oleh Gerbault dan kawan-kawan (2000) untuk wilayah lautan Hindia besarnya sekitar 3×10^{13} N/m, di Asia Tengah 5.4×10^{13} N/m dan di Australia 10^{14} N/m. Besarnya gaya dorong lateral persatuan panjang berorde 10^{13} N/m dapat menyebabkan fenomena *buckling* pada kolom batuan zona tersebut sehingga dapat berimplikasi menjadikan zona tersebut berpotensi lebih kerentanan dibandingkan zona lainnya yang mempunyai nilai gaya persatuan panjang kurang dari 10^{13} N/m.
3. Nilai b (b value) dari tiap segmen 1° bujur berkisar antara 1-1.2, 2.5, 1-1.2 dan 1.2-1.3 pada garis lintang 4° - 11° LS untuk masing-masing bujur 105° - 106° BT, 106° - 107° BT, 107° - 108° BT dan 108° - 109° BT. Dapat ditafsirkan bahwa karakter batuan dasar di zona ini tidak terlalu *ductile* atau tidak terlalu *brittle*. Hal ini didukung berdasarkan data gempa bumi yang terjadi baik di zona megathrust $M_w < 9.0$ dan M_w di daratan < 7.5 (data yang terdokumentasi pada katalog gempa bumi Indonesia). Disamping itu berdasarkan data kajian sesar aktif darat yang ada di wilayah Jawa Barat dan Banten menyebutkan magnitudo tertarget atau MCE semuanya mempunyai $M_w < 7.0$. Namun demikian untuk mengetahui karakter batuan dasar yang lebih teliti diperlukan kajian lanjut dari sisi *rheology* batuan di wilayah itu.
4. Sesar aktif Lembang dengan magnitudo tertarget 6,8 dan *slip rate*-digunakan- 2 mm/tahun, estimasi periode ulangnya sekitar 530 tahun. Sedangkan untuk sesar aktif Cimandiri dengan magnitudo tertarget 6,7 dan *slip rate* 3.5 mm/tahun, estimasi periode ulangnya sekitar 270 tahun. Pada kajian ini ambang batas kesalahan (*margin error*) estimasi tidak dihitung karena banyak ambang batas kesalahan dari variabel-variabel masukan (*input*) yang belum atau tidak diketahui. Namun demikian estimasi periode ulang gempa bumi ini sangat diperlukan untuk bisa dipertimbangkan dalam mendukung perencanaan tata ruang atau *landscape* jangka panjang (*longterm*) yang di kombinasikan dengan estimasi dampak guncangan (*shakemap*), peta PGA, peta PGV dan peta mikrozonasi serta data geologi lainnya di wilayah Jawa bagian barat.
5. Studi awal (*Preliminary Study*) tatanan tektonik aktif ini untuk mendapatkan gambaran terhadap implikasi kegempaan yang dapat di timbulkannya di wilayah Jawa bagian barat. Untuk mendapatkan hal-hal lebih rinci perlu ditindak lanjuti dengan penelitian lanjut yang lebih komprehensif termasuk keberadaan sesar-sesar aktif lainnya, site efek dan data geologi lainnya. Dengan demikian diharapkan hasilnya dapat dijadikan sebagai salah satu masukan yang mungkin perlu dipertimbangkan dalam perencanaan tataruang (*landscape*) jangka panjang (*longterm*) sebagai bagian upaya mitigasi bencana gempa bumi di wilayah Jawa bagian barat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kajian awal terkait tektonik aktif dan implikasi kegempaan di wilayah Jawa bagian barat ini (Propinsi Jawa Barat, Banten dan Jakarta) di dukung oleh data dan software dari International Institute of Seismology and earthquake Engineering (IISEE)-Building Research Institute di Tsukuba Jepang, dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika serta Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) terkait data *geodetic slip rate* atau *slip rate* sesar-sesar aktif di wilayah Jawa bagian barat.

REFRENSI

1. Abidin, H.Z., Andreas, H., Gamal, M., Wirakusumah, A.D., Darmawan, D., Deguchi, T., dan Maruyama, Y. (2008). Land subsidence characteristics of the Bandung basin, Indonesia, as estimated from GPS and InSAR. *Journal of Applied Geodesy*, 2(3),167-177.
2. Abidin, H.Z., Andreas, H., Kato, T., Ito, T., Meilano, I., Kimata, F., Natawidjaya, D.H. dan Harjono, H. (2009). Crustal Deformation Studies in Java (Indonesia) using GPS. *Journal Earthq.Tsunami* 3(2), 77-88.
3. Badan Meteorologi Klimatologi. (2019). Katalog Gempabumi Indonesia. Jakarta.
4. Eko Yulianto (2016). *Republika.Co.id*. Tanggal 28 Februari 2021 diduga merujuk informasi tanggal 14 Desember 2016.
5. Frederick C. Davidson and Christofeher H. Schole (1985). Frequency Moment Distribution of earthquake arc: A Test the Characteristic Earthquake Model. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol.75. No.5.pp.1349-1361. October 1985.
6. Gerbault.M. (2000). At What stress level is the Central Indian Ocean Lithosphere Buckling?. *Earth and Planetary Science Letters*, 178 (2000) 165-185. Elsevier.
7. Ida Bagus Suananda Y; Irfan Aufa; Ulvienin Harlianti. (2018). Identifying Intraplate Mechanism by b value Calculation in South of Java island. 41st HAGI Annual Convention and Exhibition 2016. IOP Conf.Series: Earth and Environmental Science 132 (2018) 012032 doi:10.1088/1755-1315/132/1/012032.
8. International Institute of Seismology and earthquake Engineering, Building Research Institute. (2010). *Bahan Kuliah*. Tsukuba, Japan.
9. Jaya Murjaya, Kirbani Sri Brotopuspito, Lilik Hendrajaya, Subagyo Pramumijoyo.(2009). Strain rate of lithosphere Based on Buckling Phenomena for the Intermediate Depth Earthquake Parallel Trench (Case Sudy: Sumatra region). Presented in The International Symposium on Earthquake and Precursor Monitoring System. Bukit Tinggi, West Sumatra-Indonesia, November 16th-18th 2009.
10. Meilano, I. (2011). *Lokakarya LIPI-JICA*. Jakarta.
11. Mudrik R. Daryono. (2021). Acara Ngobrol Santuy Online Sesar Lembang, Kamis 4 Februari 2021. *iNewsJabar.id* dan *Okenews*. Bandung.
12. Linda, Nasrul Ihsan, Pariabti Palloan. (2019). Analysis of Spatial and Temporal Distribution of Seismotectonics Based on b value using the likelihood method on Java. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF)*. Jilid 15, Nomor 1. April 2019. Hal 16-31.
13. Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
14. Soedarmo R.P. (1978). *Statistical Analysis of The earthquakes Occurrence and Seismic Activity in Some of Indonesian Region 1897-1973*. Pusat Meteorologi dan Geofisika. Departemen Perhubungan.
15. Sukendar Asikin, (1972). *Diktat Geologi Struktur Indonesia*. Lab. Geologi Dinamis-Geologi Institut Teknologi Bandung. Departemen Teknik Geologi ITB. Bandung.
16. Supartoyo dan Surono. (2008). *Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1629-2007*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Badan Geologi. Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral. Bandung.

17. Stephen Kirby, Stein.S, Okal E.A, and Rubie D.C (1996). Metastable Mantle Phase Transformations and Deep earthquakes in Subducting oceanic lithosphere. *Reviews of Geophysics*, 34, 2 May 1996. Pages 261-306.paper number 96 RG01050.
18. United State Geological Survey. (2020). [www. usgs.gov earthquake map](http://www.usgs.gov/earthquake-map).
19. Yehuda Bock, Linette Prawirodirdjo, Genrich. J.F, Stevens. C.W, McCaffrey.R, Cecep Subarya, Puntodewo, and Calais.E. (2003). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal Geophysics Research*, vol.108, No. B8,2367.