

RELOKASI HIPOSENTER GEMPABUMI MENGGUNAKAN METODE *MODIFIED JOINT HYPOCENTER DETERMINATION* (MJHD) UNTUK ANALISIS ZONA SUBDUKSI SUMATERA BAGIAN SELATAN

Deswita Sari*¹, Fadiah Khairina², Gatut Daniarsyad²

¹Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

²Jl. Raden Intan No. 219, Kota Alam, Kotabumi, Lampung Utara, 34519
Jurusan Teknik Geofisika, FT UNILA

e-mail: *¹deswitasari158@gmail.com

ABSTRAK

Daerah Sumatera bagian Selatan merupakan daerah yang rawan terhadap bencana gempa bumi karena adanya aktifitas tumbukan lempeng tektonik yaitu Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Untuk memahami kondisi tektonik yang tepat seperti pola zona subduksi diperlukan analisis hiposenter di daerah tersebut. Sehingga dilakukanlah relokasi hiposenter untuk menentukan ulang hiposenter gempa bumi menjadi lebih akurat. Untuk menghasilkan hiposenter yang lebih akurat ini dilakukanlah relokasi hiposenter dengan menggunakan metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD). Relokasi dengan metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD) menggunakan kecepatan gelombang IASP91 yang mengasumsikan bahwa struktur dalam bumi bersifat heterogen. Pada penelitian ini data yang digunakan berupa data *arrival time* gelombang P dan S pada rentang waktu Januari 2010 s.d Desember 2016 dengan koordinat -3.5° s.d -9° LS – 99° s.d 106.5° BT. Hasil dari relokasi menggunakan MJHD menunjukkan adanya perubahan hiposenter gempa bumi yang ditunjukkan dengan nilai RMS (*Root Mean Square*) berkisar 0.2 s.d 0.5. Terdapat 3 sudut penunjaman di daerah Sumatera bagian Selatan. Sudut penunjaman yang terbentuk di Bengkulu sekitar 26.78° , sudut penunjaman Lampung sekitar 30.225° dan sudut penunjaman Selat Sunda sekitar 52.53° . Masing-masing kedalaman penunjaman daerah Bengkulu yaitu sekitar 250 km, Lampung dan Selat Sunda sekitar 400 km.

ABSTRACT

The part of south Sumatera is very vulnerable region in case of earthquake disaster caused by convergent boundary of two tectonic plates Indo-Australian Plates and Eurasian Plates. Precise hypocenter analysis is needed to understand about the accurate tectonic setting such as subduction zone in the area. Hypocenter relocation is used to recalculate earthquake hypocenter to become more accurate. To produce a more accurate hypocenter this hypocenter relocation is done by using the method of *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD). Relocation using the *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD) method uses IASP91 wave velocity which assumes that the inner structures are heterogeneous. In this study, used data P-wave and S-wave arrival time in the period January 2010 s.d December 2016 with coordinates -3.5° s.d -9° LS - 99° s.d 106.5° BT. The results of the relocation using MJHD showed a change of earthquake hypocenter shown by RMS (*Root Mean Square*) value ranging from 0.2 s.d 0.5. There are three subduction of the part in south sumatra. The subduction zone formed in Bengkulu is about 26.78° , the subduction zone of Lampung is around 30.225° and the subduction of the Sunda Strait is about 52.53° . Subduction zone of Bengkulu at depth of 250 km, Lampung and Sunda Strait at depth 400 km.

Keywords— *Hypocenter relocation, MJHD, Subduction Zone*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi. Sumatera merupakan salah satu pulau yang aktif terjadi gempa, karena adanya penunjaman (*subduction*) Lempeng Indo-Australia yang masuk ke dalam Lempeng Eurasia, sehingga membentuk jalur gempa di Laut Sumatera Indonesia. Sebelah Barat Pulau Sumatera dikenal dengan jalur gempa Mediteran dan di darat Pulau Sumatera menimbulkan Patahan Besar Sumatera (*Great Sumatera Fault*) yang membujur sepanjang Bukit Barisan dan membentang dari Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat sampai ke Teluk Lampung, sehingga wilayah Sumatera bagian Selatan memiliki tingkat seismisitas tinggi terancam oleh bencana alam gempa bumi.

Gempa bumi yang terjadi di Pulau Sumatera merupakan implikasi geodinamika dari deformasi aktif di sekitar Sunda dan Java Trench. Kejadian gempa yang terjadi di dekat batas pertemuan antara Lempeng Samudera yang menunjam masuk ke bawah Lempeng Benua diklasifikasikan sebagai Zona Subduksi. Pada penelitian ini penulis menggunakan data gempa yang terjadi di wilayah Bengkulu, Lampung dan sekitaran Selat Sunda.

Salah satu parameter gempa bumi yang dapat dihitung yaitu hiposenter gempa bumi. Penentuan hiposenter gempa bumi sangatlah penting didalam dunia seismologi. Hal ini sangat diperlukan dalam analisis struktur tektonik secara detail, misalnya untuk identifikasi zona patahan maupun pola Zona Subduksi. Namun, parameter hiposenter yang dihasilkan masih kurang optimal karena hanya untuk memberikan informasi sesegera mungkin kepada masyarakat tentang bahaya gempa bumi. Sehingga,

perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk merelokasi parameter hiposenter gempa bumi yang telah dihasilkan sebelumnya.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD). Metode MJHD dipilih karena metode ini mampu merelokasi posisi gempa bumi relatif lebih akurat dengan struktur dalam bumi yang heterogen dan distribusi stasiun yang tidak merata. Metode ini dapat menghitung banyak data gempa bumi secara simultan (Maung, 2009).

Kelebihan dalam relokasi menggunakan metode MJHD ini adalah adanya penambahan koreksi stasiun pada proses penentuan ulang hiposenter gempa bumi. Selain itu juga dengan menggunakan kecepatan IASP91 akan menghasilkan hiposenter yang lebih akurat karena asumsi dari kecepatan yang digunakan berupa kecepatan bumi global dengan asumsi struktur bumi yang heterogen.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan relokasi data hiposenter gempa bumi wilayah Sumatera bagian Selatan untuk mengetahui perbedaan hasil sebaran kegempaan sebelum dilakukan relokasi dan sesudah dilakukan relokasi.
2. Menganalisis pola dan sudut Zona Subduksi di wilayah Sumatera bagian Selatan berdasarkan distribusi hiposenter hasil dari relokasi.

2. TINJAUAN PUSTKA

2.1 Geologi Regional

Daerah penelitian terletak dengan koordinat -3.5° s.d -9° LS dan 99° - 106.5° BT yang mencakup wilayah Sumatera

bagian Selatan yaitu Bengkulu, Lampung dan Selat Sunda. Dengan kelompok geologi yang ada di daerah tersebut berupa kelompok sedimen tersier, sedimen kuarter, plutonik tersier, sedimen paleozoikum dan malihan paleozoikum. Peta dan posisi daerah penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Secara umum, morfologi daerah penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga, yaitu dataran rendah di bagian timur dan timurlaut, pegunungan bergelombang di bagian tengah dan barat daya, dan daerah pantai berbukit sampai dataran. Daerah dataran rendah menempati lebih dari 60% luas lembar dan terdiri dari endapan vulkanoklastika tersier-kuarter dan aluvium dengan ketinggian puluhan meter di atas muka laut. Pegunungan Bukit Barisan menempati 25-30% luas lembar, terdiri dari batuan beku dan malihan serta batuan gunungapi muda. Lereng-lereng umumnya curam dengan ketinggian 500 s.d 1.680 m di atas muka laut (Mangga, dkk., 1993). Daerah pantai bertopografi beraneka ragam dan seringkali terdiri dari pebukitan kasar, mencapai ketinggian 500 m di atas muka laut dan terdiri dari batuan gunungapi tersier dan kuarter serta batuan terobosan yang terdapat pada **Gambar 2**.

3. TEORI DASAR

3.1 *Modified Joint Hypocenter Determination* (MJHD)

Metode MJHD secara teoritis merupakan pengembangan dari metode Joint Hypocenter Determination (JHD). Metode ini secara simultan menginversi waktu tempuh sekelompok gempa bumi dan besaran koreksi stasiun untuk mendapatkan lokasi hiposenter yang lebih baik sebab memberikan perbaikan terhadap kesalahan akibat variasi kecepatan lateral.

Permasalahan yang terdapat pada metode penentuan hiposenter tunggal terletak pada model struktur kecepatan yang digunakan. Metode hiposenter tunggal tidak memperhitungkan efek

akibat adanya model kecepatan yang tidak termodelkan bila hanya menggunakan model kecepatan homogen isotropis. Adanya efek tersebut disebabkan oleh lapisan bawah permukaan bumi yang dilewati gelombang gempa sebenarnya bersifat heterogen.

Keheterogenan lateral dapat menyebabkan perbedaan pembacaan sebuah lokasi hiposenter oleh rangkaian stasiun sehingga hiposenternya menyebar dan terbaca menjadi beberapa event.

Untuk mengatasi permasalahan diatas, maka metode JHD menambahkan besaran koreksi stasiun sebagai koreksi terhadap kesalahan akibat variasi kecepatan lateral yang tidak diperhitungkan dalam model kecepatan 1D (Pujol, 2000). Koreksi ini dilakukan pada setiap stasiun pengamat yang merekam suatu event gempa.

Nilai Koreksi stasiun berkorelasi dengan adanya anomali nilai kecepatan dibawah stasiun tersebut. Anomali nilai kecepatan tidak menerus secara lateral sehingga mengakibatkan adanya variasi kecepatan lateral yang harus diperhitungkan dalam inversi. Pola nilai koreksi stasiun sesuai dengan pola anomali tersebut, sehingga diharapkan inversi JHD bisa menghasilkan lokasi hiposenter yang lebih baik (Putri, 2012).

Namun, bila penyebaran stasiun tidak merata dan medium bawah permukaan sangat heterogen maka solusi menggunakan metode JHD akan tidak stabil, untuk mengatasi masalah tersebut, Hurokawa dan Imoto (1992) kemudian mengembangkan metode MJHD untuk melokalisasi gempabumi lokal, dimana koreksi stasiun yang digunakan tidak bergantung pada jarak dan azimuth antara pusat daerah studi dengan stasiun yang digunakan, sehingga memperbaiki stabilitas metode ini (Hurokawa, dkk., 1992).

Dengan menambahkan harga koreksi stasiun, maka residual waktu tempuh yang diperoleh pada stasiun ke-*i* dapat ditulis sebagai berikut:

$$r_{ij} = T_{ij}^{obs} - T_{ij}^{cal} \quad (1.1)$$

Tobs adalah waktu tempuh gelombang seismik dari pusat gempa ke stasiun yang diperoleh dari selisih waktu tiba gelombang gempa dengan waktu asal (*origin time*), T_{cal} adalah waktu tempuh kalkulasi dan s_i adalah koreksi stasiun.

Persamaan (I.1) dapat dilinierkan menggunakan ekspansi Taylor orde pertama sebagai berikut:

$$dr_i = \frac{\partial T}{\partial x_i} \Delta x + \frac{\partial T}{\partial y_i} \Delta y + \frac{\partial T}{\partial z_i} dz + dt + ds \quad (1.2)$$

Dengan $i = 1, \dots, N$ menunjukkan jumlah stasiun pengamat dan $j = 1, \dots, M$ menunjukkan jumlah kejadian gempa.

Jika persamaan (I.2) disusun menjadi sebuah matriks untuk semua stasiun maka persamaan matriksnya adalah sebagai berikut:

Adapun contoh elemen penyusun matriks dari persamaan (I.2) adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} A_1 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & A_2 & \dots & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & A_M & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx_1 \\ dx_2 \\ \vdots \\ dx_m \\ ds \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_m \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$r_j = A_j dx_j + ds$$

r_j berisi residual waktu tempuh tiap gempa, A_j adalah matriks yang berisi partial derivative dari residual waktu tempuh terhadap parameter hiposenter, dx_j berisi vektor pertubasi atau perubahan parameter hiposenter terhadap parameter dugaan (awal), dan ds adalah koreksi stasiun.

Pada metode MJHD ditambahkan konstrain untuk memperbaiki kestabilan hasil JHD yang secara tidak langsung menyatakan bahwa koreksi stasiun yang digunakan tidak bergantung pada jarak dan sudut azimuth antara pusat daerah studi dengan stasiun yang digunakan. Adapun konstrain yang digunakan dalam metode MJHD adalah

$$\sum_{i=1}^n S_i D_i = 0 \quad \sum_{i=1}^n S_i = 0 \quad (1.4)$$

3.2 Zona Subduksi

Zona Subduksi merupakan daerah zona seismik aktif, sebagian besar gempabumi terjadi di daerah ini, baik dangkal, menengah maupun dalam sebagai hasil dari penunjaman lithosfer. Penyebaran titik-titik pusat gempa (hypocenter) menunjukkan struktur dari penunjaman lithosfer dari mulai batas palung sampai ke dalam mantel bumi. Terjadinya zona subduksi dimulai dengan dua lempeng (benua dan samudera) yang bergerak mendekat satu dengan yang lainnya. Kemudian terjadi konvergen, plat samudera melengkung dan terdorong ke bawah plat benua yang lebih tebal dan lebih stabil. Proses penunjaman ini memberikan bentuk dari permukaan bumi (Subardjo dan Ibrahim, 2004).

Secara umum di Indonesia terdapat 4 bentuk zona subduksi (Subardjo dan Ibrahim, 2004) yang terdapat pada **Gambar 3** yaitu:

1. Zona Penunjaman pendek
Di sepanjang Sumatera sampai Jawa Barat, kedalaman penunjaman sejauh 180 km, yang berarti disini zona subduksi menunjam sejauh 180 km. Arahnya dari barat daya ke timur dengan sudut penunjaman 25° , jenis subduksi miring (oblique fault). Kedalaman palung laut Sumatera sekitar 4500 meter dan palung laut Jawa mencapai 7000 meter. Lempeng menunjam rata-rata dengan kecepatan 6,8 cm pertahun.
2. Zona penunjaman diskontinu.
Bentuk ini ditemui mulai dari Jawa Tengah sampai Flores. Kedalaman maksimum 650 km Tetapi pada kedalaman antara 260 – 542 km di Jawa Tengah dan kedalaman antara 280 – 360 km di Flores Barat terdapat diskontinu lempeng. Kecepatan penunjaman lempeng sekitar 7,5 cm pertahun. Gunung api terdapat pada lokasi yang berkaitan dengan

kedalaman gempabumi antara 100 dan 200 km.

3. Zona penunjaman berbentuk permukaan cekung. Bentuk zona ini terdapat mulai dari Alor sampai kepulauan Kai (daerah Laut Banda). Di wilayah Laut Banda bentuk penunjaman lempeng lebih kompleks. Sebelah selatan terdapat Palung Timor dan di utara adalah Palung Seram. Kedua palung ini melingkar membentuk setengah lingkaran mulai dari selatan pulau Timor, Tanimbar, berbelok ke atas di sebelah timur Kepulauan Kai dan kemudian berbalik ke arah barat di sebelah utara Pulau Seram dan Buru. Kedalaman Palung Timor sekitar 2500 meter, Palung Seram antara 4000 – 5000 meter, dan Basin Weber mencapai kedalaman 7000 meter.
4. Zona penunjaman berbentuk permukaan cembung. Ditemui didaerah Maluku, Pada daerah Maluku zona subduksi lebih rumit bentuknya. Di daerah ini terdapat beberapa palung, yaitu Palung Maluku yang bersambung dengan Palung Filipina diutaranya. Palung Sangihe memanjang dari Sulawesi Utara sampai selatan Mindanao, dan Palung Cotabato di bagian barat Mindanao.

3.3 Kelengkungan Penunjaman

Kelengkungan penunjaman ditentukan dengan menggunakan metode regresi. Regresi merupakan hubungan antara dua variabel atau lebih yang dinyatakan dalam bentuk fungsi. Regresi yang digunakan pada penulisan ini yaitu regresi polinomial yang merupakan sebuah variabel bebas dengan pangkat terurut. Orde yang digunakan yaitu orde tiga yang mempunyai korelasi terbaik dari data hiposenter gempa yang digunakan. Berikut bentuk umum dari persamaan orde tiga:

$$(1.5)$$

Dimana

y = fungsi kedalaman (km)

x = jarak pusat gempa dari penunjaman terdangkal (km)

a, b, c, d = konstanta

Besar sudut penunjaman dihitung dengan menggunakan garis singgung kurva pada salah satu titik di sepanjang kurva. Titik tersebut merupakan titik awal terjadinya perubahan sudut yang signifikan. Setelah menentukan garis singgung kurva, maka sudut penunjaman dapat ditentukan. Ilustrasi penentuan sudut dapat dilihat pada **Gambar 4** (Listyaningrum, 2015).

Hubungan dari garis singgung kurva pada **Gambar 4** tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$(1.6)$$

Kemiringan garis singgung atau gradien dapat dinyatakan dengan turunan pertama dari kurva $y=f(x)$

$$(1.7)$$

Kemudian untuk menentukan persamaan garis singgung dapat dinyatakan dengan:

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (1.8)$$

Besar sudut (α) didapatkan dengan menentukan terlebih dahulu titik x_1' pada garis singgung saat $y=0$.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_1}{x_1'}\right) \quad (1.9)$$

4. METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam kerja praktek ini adalah sebagai berikut:

- Data *arrival time* gelombang P dan S
- *Software Cygwin*
- *Software GMT*
- *Software Excel*

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Proses perubahan data BMKG ke data MJHD

Pada proses ini, dilakukan terlebih dahulu perubahan format data gempa bumi dari katalog BMKG dengan format *.txt yang telah diubah terlebih dahulu menjadi format *.data ke dalam format MJHD agar bisa dilakukan relokasi. Data awal yang didapat dari katalog BMKG berupa data dalam format arrival time gelombang P dan S yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Pada format data MJHD ini, parameter yang diambil adalah *origin time*, lintang, bujur, kedalaman, magnitudo dan jumlah fase dari setiap event gempa bumi yang terjadi, serta keterangan tentang stasiun pencatat.

4.2.2 Menentukan Nilai MEQ dan MNST

Pada proses ini, nilai MEQ dan MNST digunakan sebagai input pada program station dengan bahasa fortran yang merupakan input parameter dalam program MJHD. Nilai MEQ yang digunakan pada penelitian ini yaitu 10 dan MNST yang digunakan yaitu 5. MEQ merupakan jumlah minimal gempa bumi yang dicatat oleh satu stasiun, sedangkan MNST merupakan jumlah minimal stasiun yang dipakai untuk satu gempa bumi.

4.2.3 Inversi dengan MJHD

Inversi menggunakan MJHD dilakukan dengan melakukan beberapa iterasi untuk mendapatkan hasil hiposenter yang lebih akurat. Berikut merupakan tampilan dari iterasi yang digunakan pada software Cygwin yang ditunjukkan pada **Gambar 6**.

Parameter dari inputan iterasi tersebut berupa iform atau tipe data input, nama file masukan, nama file keluaran, longitude dan latitude kedalaman fix (ZFIX) yaitu

batas kedalaman gempa bumi dalam km, residu maksimum travel time (RESS), jumlah iterasi maksimum (ITRT), standar deviasi (STD1), jumlah stasiun yang tidak digunakan (NAST), jumlah gempa bumi pada data yang tidak digunakan (NEXC), akurasi pembacaan (RANKAB), RMAX yaitu batasan derajat dimana jika sebuah stasiun ada dalam batasan RMAX dari pusat area maka stasiun tersebut akan dilibatkan dalam perhitungan, pilihan mengenai hasil yang akan dicetak, magnitudo minimum (AMGM), dan nilai SLOPE.

4.2.4 Plotting peta dengan GMT

Plotting dengan GMT digunakan untuk mengetahui sebaran hiposenter sebelum dan sesudah direlokasi.

4.2.5 Penentuan Zona Subduksi

Penentuan pola dan sudut zona subduksi Sumatera bagian Selatan menggunakan *Ms. Excel*.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengamatan

Relokasi hiposenter gempa bumi menggunakan metode MJHD (*Modified Joint Hypocenter Determination*) yang menghasilkan hiposenter yang lebih akurat. MJHD merupakan salah satu metode untuk merelokasi posisi pusat gempa bumi yang umumnya terjadi perubahan yang signifikan pada kedalaman. Proses relokasi ini menggunakan nilai MEQ sebesar 10 dan MNST sebesar 5.

MEQ menyatakan bahwa dalam satu stasiun harus mencatat minimal sepuluh kejadian gempa, sehingga apabila satu stasiun tersebut hanya mampu mencatat sembilan (kurang dari sepuluh) kejadian

gempa maka stasiun tersebut dihilangkan atau tidak digunakan dalam relokasi yang mengakibatkan kesembilan event gempa tersebut hilang. Sedangkan MNST menyatakan bahwa setiap satu event gempabumi harus tercatat didalam lima stasiun.

Apabila satu event gempa tersebut hanya tercatat diempat (kurang dari lima) stasiun, maka event gempa tersebut hilang. Berikut *event* gempabumi sebelum dan sesudah relokasi terdapat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Distribusi Event Gempa dan Pola Penunjaman

Untuk mengetahui distribusi event gempa serta pola penunjaman daerah Sumatera Selatan ini dibuatlah 3 penampang sekema irisan vertikal yaitu penampang untuk daerah Bengkulu, Lampung dan Selat Sunda. Berikut merupakan garis penampang yang dibuat untuk ketiga daerah tersebut yang ditunjukkan pada **Gambar 9**.

Gambar 9 tersebut menunjukkan skema irisan penampang vertikal untuk ketiga daerah dengan daerah Bengkulu berupa garis penampang A-A', Lampung berupa garis penampang B-B' dan Selat Sunda berupa garis penampang C-C'. Setelah dibuat garis penampang tersebut didapatkan pola penunjaman untuk setiap daerah dengan irisan penampang vertikal yang berbeda-beda.

Irisan penampang vertikal ini dilakukan dengan menarik garis lurus dari A ke A', B ke B' dan C ke C'. Penarikan garis ini dibuat sesuai dengan arah zona subduksi yaitu dari Samudera Hindia ke arah timur laut.

Pola penunjaman sebelum dan sesudah relokasi daerah Bengkulu yang didapat dari irisan penampang vertikal terdapat pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**.

Distribusi persebaran gempabumi yang terjadi di daerah Bengkulu

menunjukkan bahwa daerah ini mempunyai aktifitas seismik yang cukup tinggi. Untuk mengetahui pola persebaran gempa yang terjadi, maka dibuatlah irisan vertikal yang menunjukkan perubahan yang lebih signifikan dibandingkan dengan peta sebaran hiposenter secara horizontal. Peta sesudah relokasi menunjukkan distribusi hiposenter yang lebih rapat mengikuti pola tektonik dibandingkan dengan peta sebelum relokasi yang persebarannya dominan pada kedalaman dangkal yaitu 0 hingga 60 km.

Gambar 10 dan **Gambar 11** menunjukkan irisan vertikal dengan irisan A-A'. Segmen irisan ini akan membentuk suatu pola penunjaman daerah yang diteliti. Distribusi hiposenter gempabumi yang ditunjukkan tersebut menunjukkan bahwa kedalaman hiposenter hasil relokasi sesuai dengan pola penunjaman, dimana hiposenternya mengikuti arah penunjaman. Hasil irisan tersebut menunjukkan hiposenter kedalaman maksimal 300 km. Dari distribusi gempa tersebut dapat dilihat bahwa semakin kearah timur menunjukkan distribusi gempa yang semakin dalam, hal ini membuktikan gempabumi tersebut bersumber dari zona subduksi dari pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia.

Pola daerah Bengkulu terbentuk dari gempa-gempa yang terjadi dibatas pertemuan lempeng-lempeng aktif seperti lempeng Indo-Australia dan Eurasia karena adanya gesekan dari kedua lempeng. Saat lempeng tidak mampu lagi menahan energi akibat dari gesekannya maka akan terjadi gempa. Gempa tersebut tidak mungkin terjadi terlalu jauh dari pola zona subduksi kecuali karena adanya sesar atau patahan.

Selanjutnya hasil dari irisan penampang vertikal daerah Lampung sebelum dan sesudah relokasi dapat dilihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.

Distribusi persebaran gempabumi yang terjadi di daerah Lampung menunjukkan bahwa daerah ini mempunyai aktifitas seismik yang cukup tinggi. Sama halnya dengan daerah Bengkulu, peta

sesudah relokasi daerah Lampung ini menunjukkan distribusi hiposenter yang lebih rapat mengikuti pola tektonik dibandingkan dengan peta sebelum relokasi yang persebarannya dominan pada kedalaman dangkal yaitu 0 hingga 60 km.

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan irisan vertikal dengan irisan B-B'. **Gambar 13** yaitu distribusi hiposenter sesudah relokasi menunjukkan pola penunjaman yang lebih terkonsentrasi membentuk pola penunjaman daerah yang diteliti dibandingkan dengan distribusi hiposenter sebelum relokasi. Distribusi hiposenter gempa bumi yang ditunjukkan tersebut menunjukkan bahwa kedalaman hiposenter hasil relokasi sesuai dengan pola penunjaman, dimana hiposenternya mengikuti arah penunjaman. Hasil irisan tersebut menunjukkan hiposenter kedalaman sekitar 400 km. Dari distribusi gempa tersebut dapat dilihat bahwa semakin ke arah timur menunjukkan distribusi gempa yang semakin dalam, hal ini membuktikan gempa bumi tersebut bersumber dari zona subduksi dari pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia.

Pola daerah Lampung sama seperti daerah Bengkulu yang terbentuk dari gempa-gempa dibatas pertemuan lempeng-lempeng aktif seperti lempeng Indo-Australia dan Eurasia karena adanya gesekan dari kedua lempeng. Saat lempeng tidak mampu lagi menahan energi akibat dari gesekannya maka akan terjadi gempa. Gempa tersebut tidak mungkin terjadi terlalu jauh dari pola zona subduksi kecuali karena adanya sesar atau patahan.

Namun, untuk daerah Lampung gempa bumi tidak hanya terjadi di pertemuan lempeng Indo-Australia melainkan terjadi di sekitaran sesar aktif Sumatera yaitu Sesar Besar Sumatera yang ditunjukkan dengan lingkaran hitam. Lingkaran hitam tersebut menunjukkan suatu distribusi gempa yang mengelompok memisah dari pola penunjaman. Dari lingkaran hitam tersebut juga menunjukkan

keberadaan Double Seismic Zone. Menurut Hasegawa, dkk., (1978) zona seismik ganda diidentifikasi dengan adanya dua pola yang terbentuk hampir sejajar. Zona ini ditandai oleh adanya sebaran hiposenter yang hampir sejajar antara pola penunjaman yang terbentuk, dimana bidang atas dan bidang bawahnya terpisah sekitar 50 km. Zona ganda ini muncul di kedalaman 50 km hingga 150 km.

Menurut Fujita dan Kanamori dalam Fauzi (2015), zona seismik ganda merupakan gempa bumi yang terjadi pada bagian berbeda dari zona subduksi. Zona seismik ganda ini diakibatkan dari orientasi tekanan/stress yang berbeda dimana mekanisme fokus untuk kedalaman menengah menunjukkan bahwa stress pada lempeng dikontrol oleh usia dari zona subduksi.

Hasil irisan yang selanjutnya berupa hasil dari irisan penampang vertikal yang berada disekitaran Selat Sunda sebelum dan sesudah relokasi ditunjukkan pada **Gambar 14 dan Gambar 15**.

Sama halnya dengan daerah Bengkulu dan Lampung, peta sesudah relokasi daerah Selat Sunda ini menunjukkan distribusi hiposenter yang lebih rapat mengikuti pola tektonik dibandingkan dengan peta sebelum relokasi yang persebarannya dominan pada kedalaman dangkal yaitu 0 hingga 60 km.

Gambar 15 menunjukkan irisan vertikal dengan irisan C-C'. Segmen irisan ini membentuk suatu pola penunjaman daerah yang diteliti. Distribusi hiposenter gempa bumi yang ditunjukkan tersebut menunjukkan bahwa kedalaman hiposenter hasil relokasi sesuai dengan pola penunjaman, dimana hiposenternya mengikuti arah penunjaman. Hasil irisan tersebut menunjukkan hiposenter kedalaman yang sama dengan daerah Lampung yaitu sekitar 400 km. Dari distribusi gempa tersebut dapat dilihat bahwa semakin ke arah timur menunjukkan distribusi gempa yang semakin dalam, hal

ini membuktikan gempa bumi tersebut bersumber dari zona subduksi dari pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Selain itu, untuk Daerah Selat Sunda menunjukkan pola penunjaman yang lebih curam dibandingkan dengan daerah Bengkulu dan sekitaran Selat Sunda.

5.2.2 Sudut Penunjaman

Besar sudut penunjaman lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia dapat ditentukan dengan cara menentukan kelengkungan slab dari irisan penampang vertikal yang telah dilakukan sebelumnya. Pola kelengkungan dari sudut penunjaman ini ditentukan dengan menggunakan hasil dari regresi polinomial. Regresi polinomial ini digunakan untuk menentukan fungsi polinomial yang paling sesuai dengan kumpulan titik data (x_n, y_n) yang diketahui. Dari hasil yang didapat penulis menggunakan regresi polinomial orde 3 karena nilai hasil dari persamaan polinomial orde 3 ini lebih mendekati kecocokan pada data yang digunakan.

Pola dari penunjaman daerah Bengkulu, Lampung dan Selat Sunda dapat dilihat pada **Gambar 16**, **Gambar 17** dan **Gambar 18** yang menunjukkan pola kelengkungan dari penunjaman di setiap daerah.

Dari pola kelengkungan yang didapatkan, kita dapat menentukan sudut penunjaman dengan menggunakan persamaan yang diperoleh dari setiap kelengkungan penunjaman di setiap daerah dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada persamaan (1.9).

Sehingga, didapatkan perhitungan sudut penunjaman di Bengkulu sebesar 22.21° , Lampung sebesar 30.22° dan di daerah Selat Sunda sebesar 52.53° . Hal ini bersesuaian dari penelitian yang telah dilakukan oleh Pesicek, dkk., (2008) dari hasil tomografi yang melakukan penelitian dari utara Thailand hingga Sumatera bagian Selatan. Daerah

Sumatera bagian utara memiliki penunjaman yang dangkal yaitu sampai pada kedalaman 200 km. Sedangkan Sumatera bagian selatan memiliki penunjaman yang lebih dalam yaitu mencapai 400 km. Sudut penunjaman di daerah Sumatera berkisar antara 30° sampai dengan 50° .

Selanjutnya Sieh dan Natawidjaja (2000) melakukan penelitian yang sama yang menghasilkan bahwa di Pulau Sumatera memiliki sudut sebesar 30° dengan kedalaman sekitar 250-400 km. Dan dilakukan penelitian kembali oleh Kaluku (2015) pada skripsinya mengenai relokasi hiposenter di Sumatera bagian Selatan mempunyai sudut sebesar 30° sedangkan untuk daerah Selat Sunda sudut penunjaman yang diperoleh lebih tajam yaitu sekitar 60° .

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Relokasi hiposenter gempa bumi menggunakan metode MJHD ini menunjukkan peningkatan kualitas yang lebih baik dilihat dari nilai RMS yang kurang dari 1 yaitu antara 0.2 s.d 0.5.
2. Relokasi menggunakan MJHD menghasilkan distribusi hiposenter yang lebih dominan mengikuti pola penunjaman dengan distribusi gempa yang semakin dalam ke arah timur.
3. Pola penunjaman yang dihasilkan menunjukkan sudut zona subduksi Bengkulu sebesar 26.78° , Lampung sebesar 30.22° dan Selat Sunda sebesar 52.53° .
4. Zona Seismik ganda ditemukan sejajar dengan pola penunjaman di daerah Lampung dengan jarak 50 km dengan kedalaman antara 50 – 150 km.
5. Kedalaman slab daerah Bengkulu berkisar 250 km sedangkan kedalaman slab daerah Lampung dan Selat Sunda berkisar 400 km.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan yaitu perlunya penelitian lanjutan dengan menggunakan metode lain seperti metode Hypo DD untuk memperkuat hasil dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Kaluku, A., 2015, Relokasi Gempabumi di Wilayah Selat Sunda Menggunakan Metode Double Different (hypo DD), Skripsi, Geofisika, STMKG, Tangerang Selatan.

Listyaningrum, Z., 2015, Studi Hubungan Antara Sudut Penunjaman Lempeng Indo-Australia - Eurasia Terhadap Tatanan Tektonik Overriding Plate, Skripsi, Geofisika, STMKG, Tangerang Selatan.

Mangga, S.A., Amirudin, T., Suwanti, S., Gafoer dan Sidarto, 1993, Peta Geologi Tanjungkarang, Sumatera, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Maung, P.M., 2009, Relocation of Earthquakes in Myanmar by MJHDM Method: Aftershocks of Large Earthquakes and Seismicity Along the Sagaing Fault, IISEE, Tsukuba, Ibaraki, Japan.

Hurukawa, N., dan Imoto, M., 1992, Subducting Oceanic Crust of the Philippine Sea and Pacific Plates and Weak Zone Normal Compression in Kanto District, Japan, *Geophys. J. Int.*, 109: 639-652.

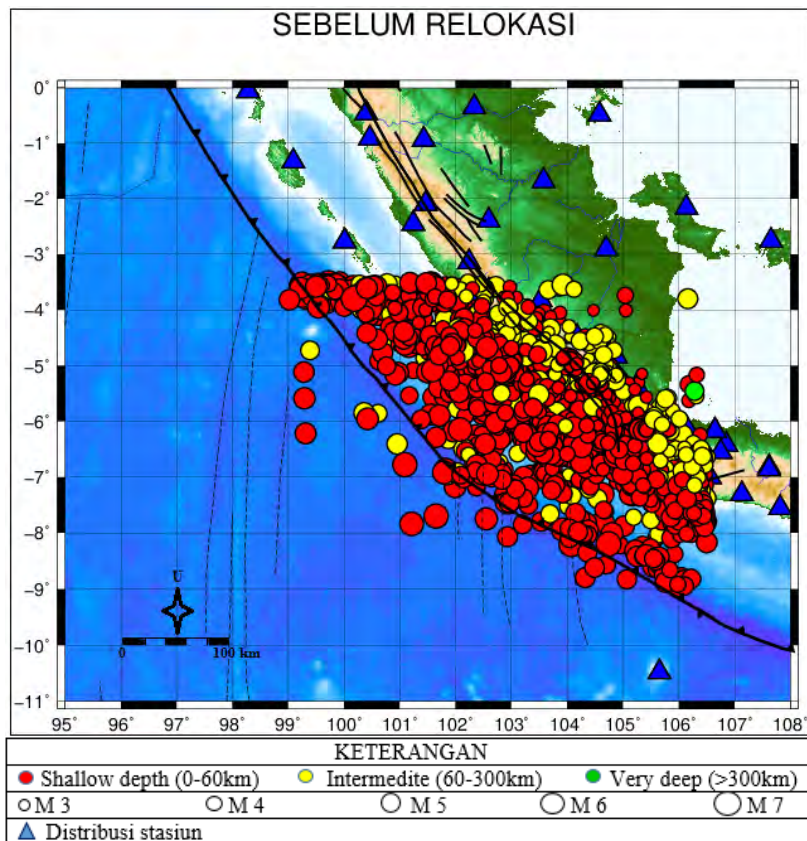
Pesicek, J.D., Thurber, C.H., Zhang, H., Engdahl, R., dan Widiyantoro, S. Teleseismic Double-Different Relocation of Earthquakes Along the Sumatera-Andan Subduction Zone Using 3D Model. *Journal Geophysical Research*. Vol 115.

Pujol, J., 2000, Joint Event Location – The JHD Technique and Applications to Data From Local Seismic Networks, *Advances in Seismic Location*, 163-204.

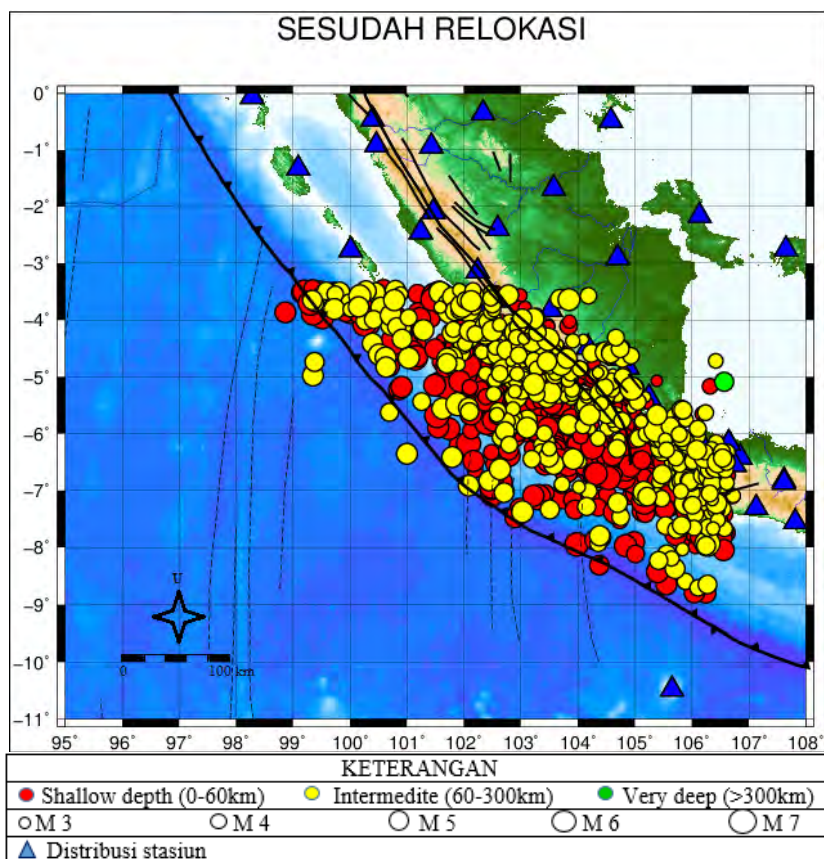
Putri, Y.T., 2012, Relokasi Gempabumi Utama Dan Gempabumi Susulan Menggunakan Metode MJHD (Studi Kasus Gempabumi Mentawai 25 Oktober 2010), Skripsi, Depok: Universitas Indonesia

Sieh, 2000, Nanotectonics of the Sumatran fault, Indonesia, *Journal of geophysical research*, Vol 105

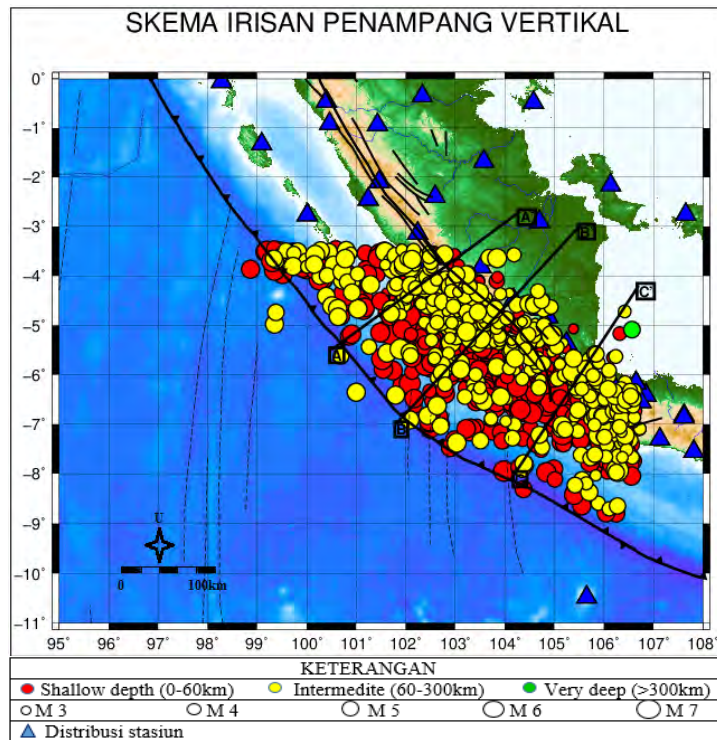
Subardjo, dan Ibrahim, G., 2004, Pengetahuan Seismologi, Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.



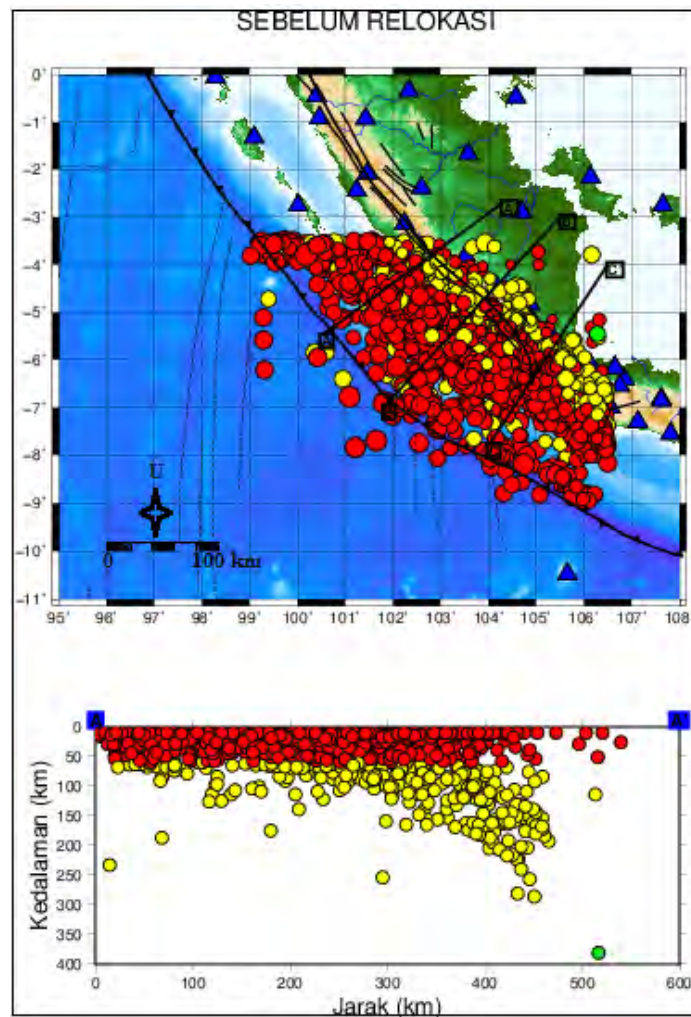
Gambar 7. Event gempa sebelum relokasi



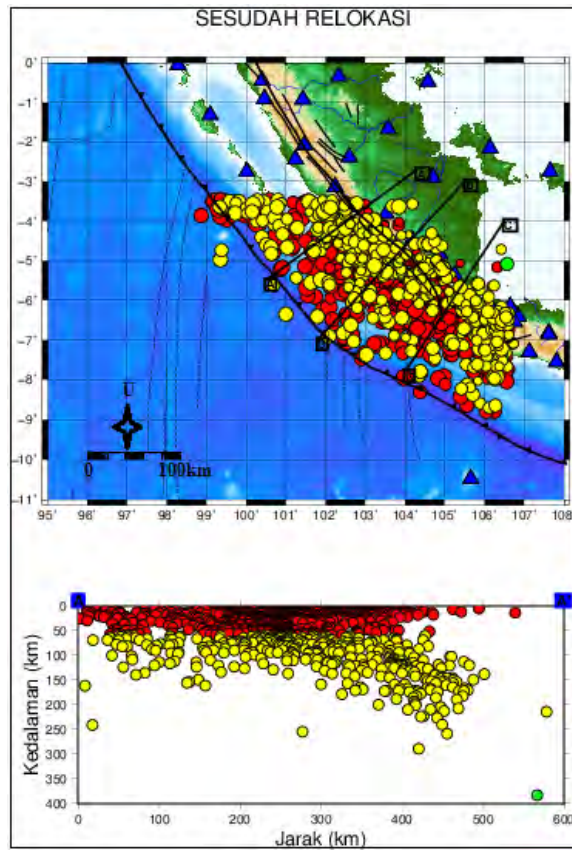
Gambar 8. Event gempa sesudah relokasi



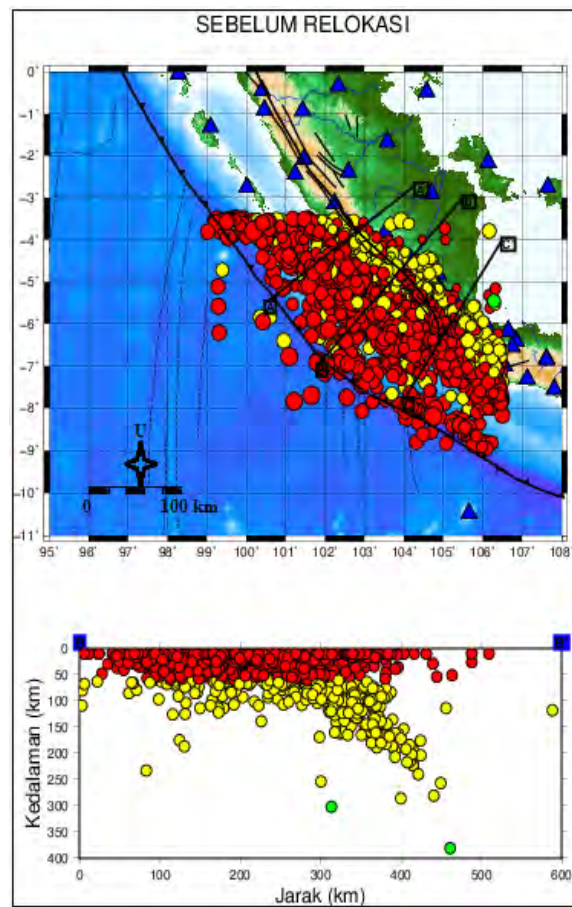
Gambar 9. Irisan penampang vertikal



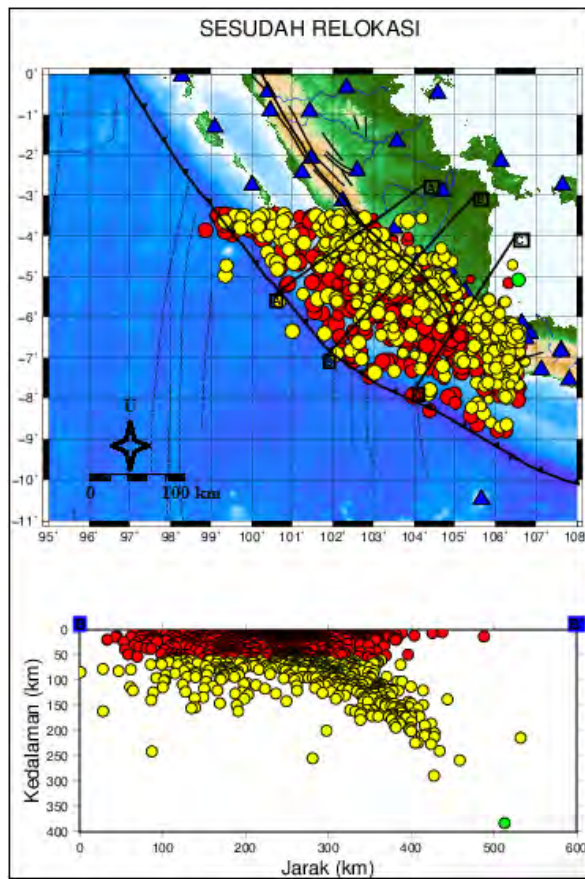
Gambar 10. Pola penunjaman daerah Bengkulu sebelum relokasi



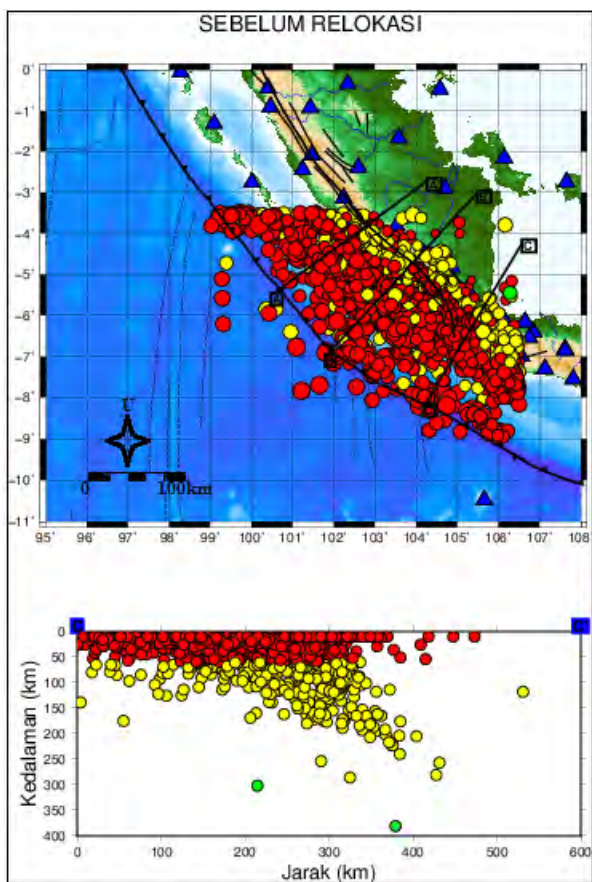
Gambar 11. Pola penunjaman daerah Bengkulu sesudah relokasi



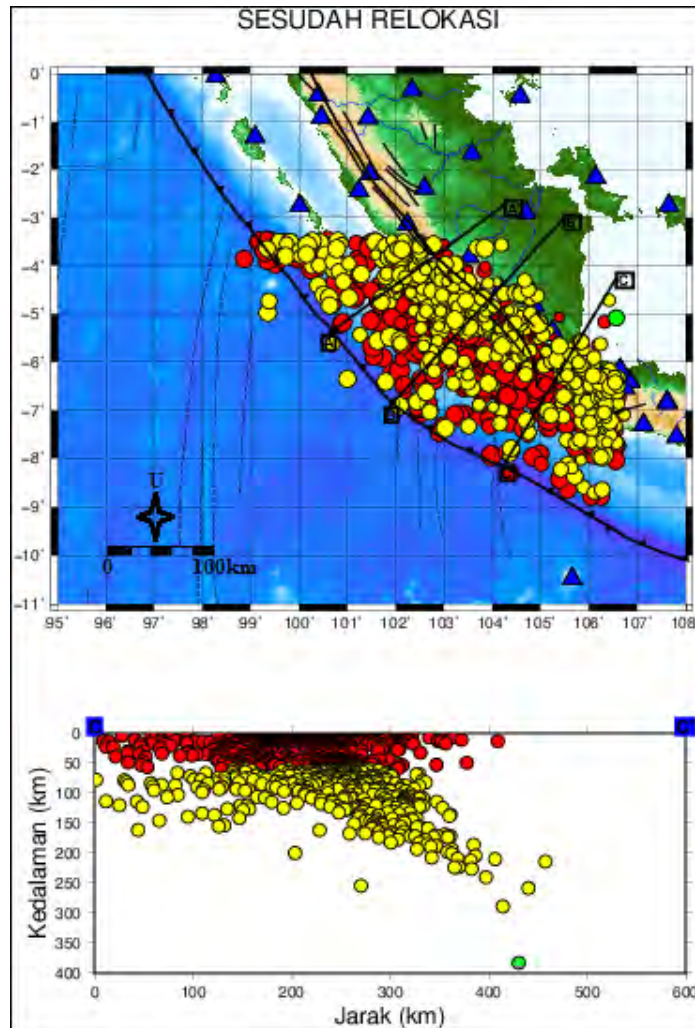
Gambar 12. Pola penunjaman daerah Lampung sebelum relokasi



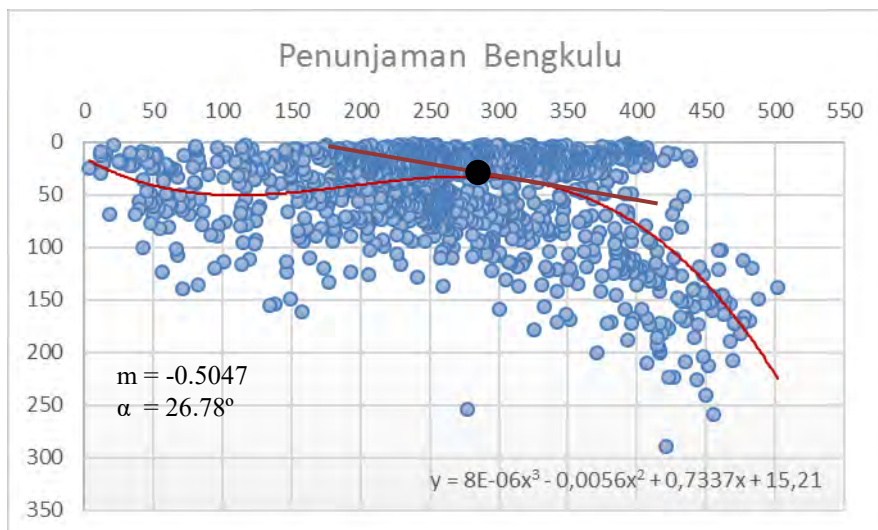
Gambar 13. Pola penunjaman daerah Lampung sesudah relokasi



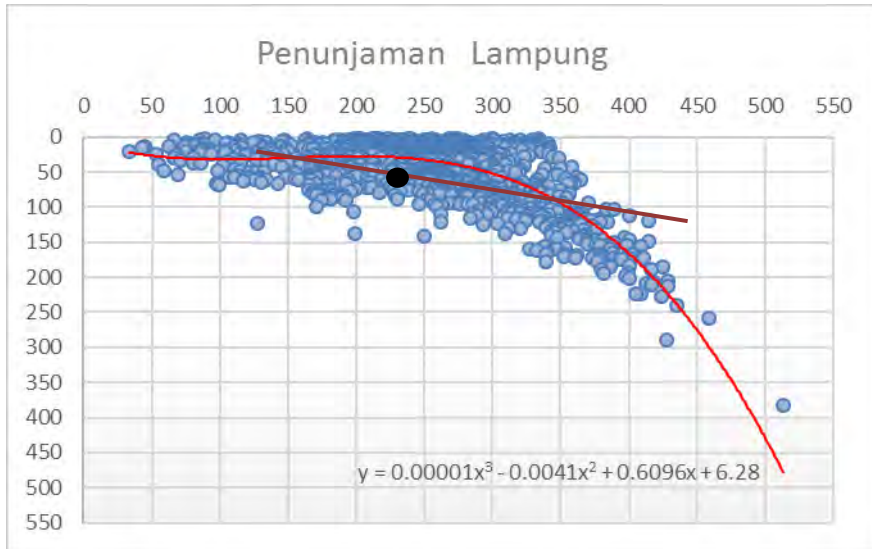
Gambar 14. Pola penunjaman daerah Selat Sunda sebelum relokasi



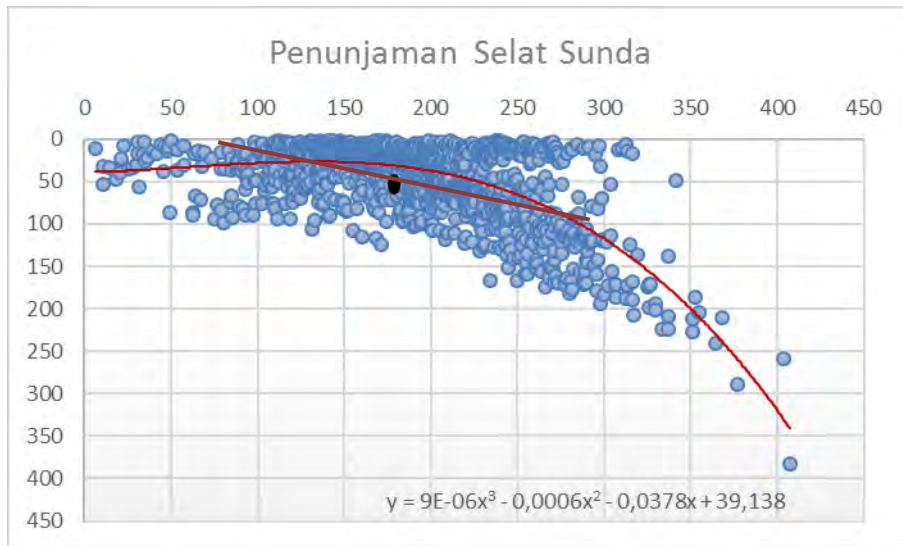
Gambar 15. Pola penunjaman daerah Selat Sunda sesudah relokasi



Gambar 16. Pola kelengkungan penunjaman Bengkulu



Gambar 17. Pola kelengkungan penunjaman Lampung



Gambar 18. Pola kelengkungan penunjaman Selat Sunda