

STUDI KASUS *FOCAL MECHANISM SOLUTION* GEMPA DI SELAT SUNDA 26 AGUSTUS 2008 BERDASARKAN GERAK AWAL DAN BENTUK GELOMBANG P

Supriyadi, Khumaedi, Fiandralekha

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Email: pryfis@yahoo.com

Abstrak. Selat Sunda yang berada di zona subduksi lempeng Indo Australia-Eurasia dan jalur sesar antara Sumatra-Jawa menyebabkan selat Sunda mengalami banyak peristiwa gempa. Pada peristiwa gempa tersebut dapat dianalisis mekanisme sumber gempanya dengan menggunakan metode gerak awal gelombang P dan metode bentuk gelombang (*waveform method*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyelesaian mekanisme sumber gempa di selat Sunda 26 Agustus 2008 menggunakan gerak awal gelombang P diperoleh parameter-parameter sesar untuk bidang nodal 1 *strike* 308° , *dip* 48° , *rake* 187° , dan pada bidang nodal 2 *strike* 213° , *dip* 85° , dan *rake* 318° . Untuk metode bentuk gelombang diperoleh parameter sesar pada bidang nodal 1 *strike* 300° , *dip* 45° , *rake* 195° , dan pada bidang nodal 2 *strike* 199° , *dip* 79° , *rake* 314° . Berdasarkan parameter-parameter sesar tersebut disimpulkan bahwa gempa di selat Sunda pada tanggal tersebut disebabkan oleh sesar turun.

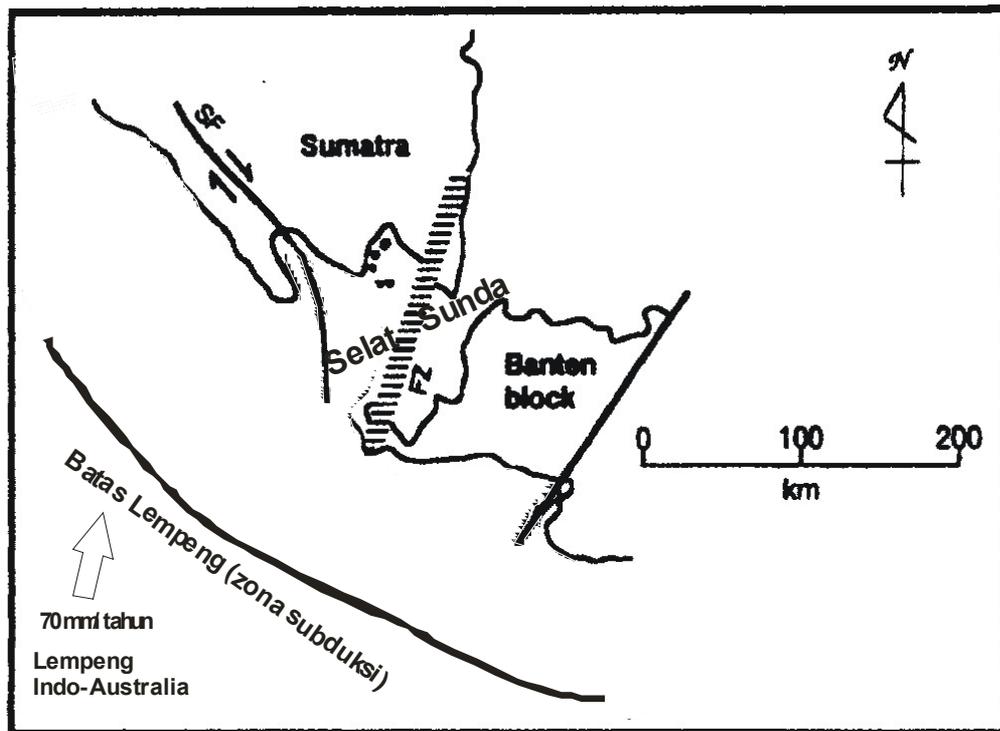
Kata Kunci: : mekanisme sumber gempa, gelombang P

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai tatanan geologi yang cukup rumit, hal ini disebabkan Indonesia terletak pada jalur pertemuan tiga lempeng besar dunia (*Triple Junction Convergen*) yaitu Lempeng Eurasia yang bergerak relatif ke arah selatan, lempeng Indo-Australia yang relatif bergerak ke arah utara, serta Lempeng Pasifik yang bergerak relatif ke arah barat daya, serta saling bertumbukan satu sama lain (Plummer, 2003). Pada daerah pertemuan tersebut menyebabkan sering terjadinya gempa bumi karena aktifitas pergerakan lempeng-lempeng tersebut (Karyadi, 2008).

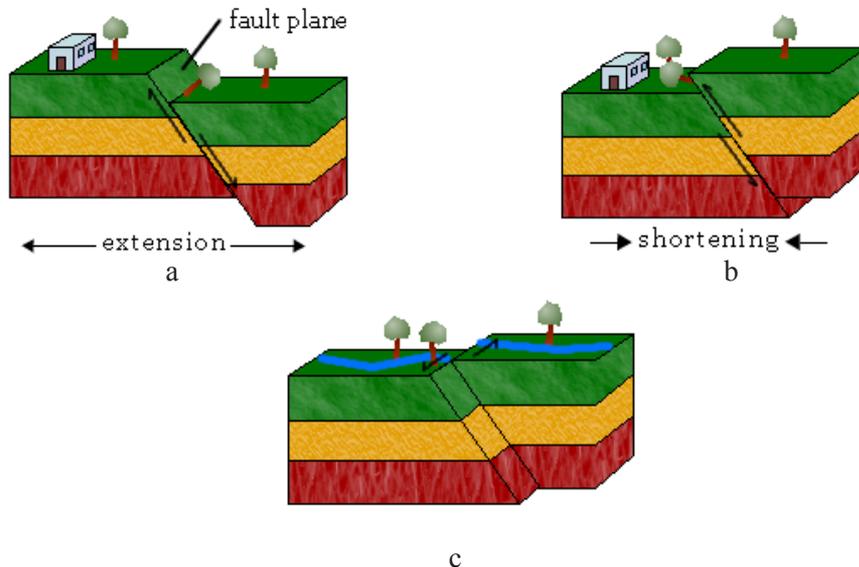
Selat Sunda (Gambar 1) yang terletak di antara Pulau Sumatra dan Jawa, secara geologis berada pada daerah seismik aktif. Hal ini disebabkan lempeng tektonik Indo-Australia yang menunjarm lempeng Eurasia, sehingga pulau Sumatra bergerak ke arah barat laut, yang menyebabkan selat

Sunda berada pada jalur sesar dan rawan gempa bumi (Lashita, 2006). Selat ini yang merupakan daerah transisi diantara Sumatera dan Jawa, dipengaruhi oleh kondisi pergerakan lempeng kedua daerah tersebut. Daerah Busur Muka Selat Sunda ini dapat mengalami kompresi akibat penunjaman lempeng Indo-Australia ke lempeng Eurasia dan juga dipengaruhi oleh pergerakan sebagian Pulau Sumatera ke arah Barat laut. Inilah yang menyebabkan banyaknya gempa bumi yang terjadi di sekitar Selat Sunda mulai dari magnitudo yang sedang hingga besar (Lashita, 2006).



Gambar 1. Peta tatanan tektonik Selat Sunda. FZ merupakan zona sesar dan SF Sesar Semangko (Nishimura, 1994)

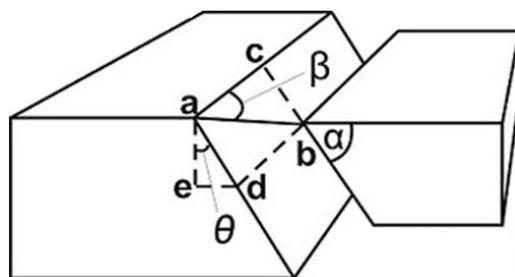
Gempa yang terjadi di Selat Sunda dikategorikan sebagai gempa tektonik. Gempa ini disebabkan aktivitas tektonik yang dimanifestasikan dengan sesar pada lempeng tektonik yang merupakan bagian dari kerak (*crust*). Sesar (*fault*) atau patahan merupakan gerakan menggeser secara horisontal dan atau vertikal tanpa membentuk kerak baru. Secara umum ada tiga bentuk sesar, yaitu sesar turun (*normal fault*), sesar naik (*trust fault* atau *reverse fault*), sesar mendatar (*strike slip fault*) seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Jenis-jenis sesar (a) sesar turun, (b) sesar naik, dan (c) sesar geser

Parameter sesar terdiri dari jurus (*strike*) (φ), kemiringan (*dip*) (δ), rake (*slip*) (λ) seperti pada Gambar 3. *Strike* adalah jurus bidang sesar yang diukur dari arah utara ke timur (0° – 360°). *Dip* adalah sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horizontal, dan diukur pada bidang vertikal yang arahnya tegak lurus jurus sesar ($0^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$). *Rake* atau *slip* adalah sudut pergerakan *hanging-wall* terhadap *strike* ($-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$), *rake* berharga positif untuk sesar naik dan negatif untuk sesar turun. Jenis sesar dapat ditentukan berdasarkan parameter *strike*, *dip*, dan *rake* sebagai berikut Aki dan Richard 1980):

1. Sesar geser, jika $\delta = 90^\circ$ dan $\lambda = 0^\circ$ (geser kiri) atau $\lambda = 180^\circ$ (geser kanan).
2. Sesar turun, jika $\delta \neq 0^\circ$ dan $\delta \neq 90^\circ$ dan $-180^\circ \leq \lambda \leq 0^\circ$.
3. Sesar naik, jika $\delta \neq 0^\circ$ dan $\delta \neq 90^\circ$ dan $0^\circ \leq \lambda \leq +180^\circ$



Gambar 3. Parameter sesar yang terdiri atas α (*dip*), β (*rake of net slip*), θ (*hade* = $90^\circ - \text{dip}$), ab (*net slip*), ac (*strike slip*), $cb = ad = \text{dip slip}$, $ae = \text{vertical slip} = \text{throw}$, $de = \text{horizontal slip} = \text{heave}$

Studi mekanisme sumber gempa dapat dilakukan dengan gerak awal gelombang P (primer). Data yang digunakan adalah gerak awal gelombang P naik (kompresi) dan turun (dilatasi). Jika stasiun seismograf yang melingkupi pusat gempa cukup banyak maka dengan mudah dapat dipisahkan antara kelompok stasiun yang merekam kompresi dan kelompok stasiun yang merekam dilatasi (Kawakatsu dan Cadena 1991).

Selain dengan gerak awal gelombang P, penentuan mekanisme sumber gempa dapat dilakukan dengan metode bentuk gelombang. Pada dasarnya penentuan mekanisme sumber gempa dengan bentuk gelombang adalah meminimalkan perbedaan antara amplitudo seismogram hasil observasi dengan amplitudo seismogram sintetis hasil perhitungan. Hasil seismogram sintetis tersebut dipengaruhi oleh *source time function*, pola radiasi, respon struktur, momen seismik, dan sebagainya. Berikut ini penjelasan masing-masing besaran yang diperlukan untuk penyelesaian mekanisme sumber gempa berdasarkan bentuk gelombang.

a. *Source time function* adalah sejarah waktu terjadinya sesar, dirumuskan dengan persamaan 1.

$$\Omega(t) = \sum_{m=1}^M A_m \tau_{\wedge}(t - \tau_m) \quad (1)$$

Selain itu dalam penjalaran gelombang seismik dari sumber gempa melalui berbagai medium, energi gelombang tersebut akan berkurang. Hal ini disebabkan adanya faktor atenuasi. Sehingga persamaan amplitudo dalam fungsi x: seperti pada persamaan 2.

$$A(x) = A_0 \exp(-\omega x / 2Q) \quad (2)$$

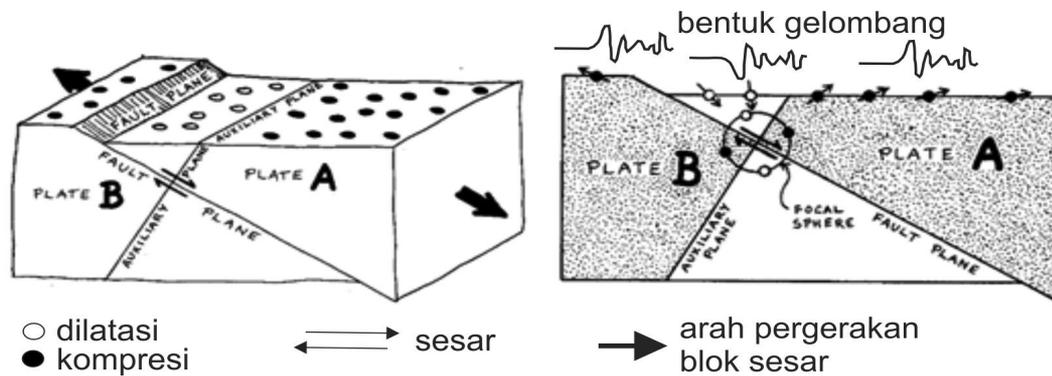
b. Respon struktur, yaitu efek dari struktur bumi yang mengakibatkan gelombang seismik direfleksikan, ditransmisikan, dan dikonversikan menjadi tipe gelombang lain. Dalam merekam gelombang pada seismogram sintetis juga diperlukan data dari *elementary seismogram* $E(t)$, yang merupakan konvolusi dari impuls respon struktur (G^s), respon instrumen (I), atenuasi (q), dan elemen *source time function* (\wedge). Secara matematis dinyatakan dengan persamaan 3.

$$E(t) = G^s * I * q * \wedge \quad (3)$$

c. Momen seismik merupakan faktor input dari seismogram sintetis. Momen seismik merupakan hasil perkalian antara rigiditas batuan, rata-rata slip dan luas sesar (Sulaeman, 2008). Secara matematis dapat ditulis dengan persamaan 4.

$$M = \mu \bar{u} A \quad (4)$$

di mana M adalah momen seismik, μ adalah rigiditas, adalah slip rata-rata, dan A merupakan luas daerah sesar. Gambaran geometrik mekanisme sumber gempa yang berupa sesar dengan lempeng tektonik seperti pada Gambar 4.



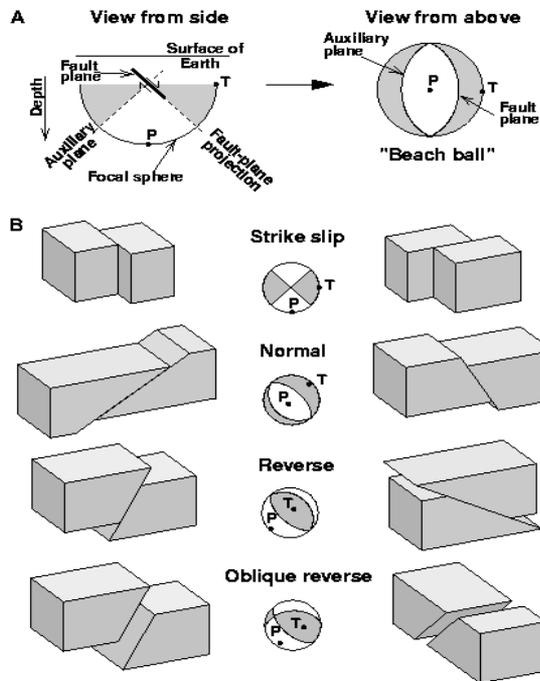
Gambar 4. Geometri sesar mekanisme sumber gempa pada lempeng tektonik

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis mekanisme sumber gempa. Pertama, dengan metode gerak awal gelombang P yang menggunakan program AZMTAK dan PMAN, dan kedua adalah metode bentuk gelombang dengan program SWIFT Inversion. Kedua program tersebut ditulis dengan FORTRAN 77.

Langkah-langkah pada metode gerak awal gelombang P yaitu: (1) menentukan arah gerak awal gelombang P (kompresi atau dilatasi), (2) memasukkan input latitude, longitude, kedalaman, nama-nama dan jumlah stasiun, serta polaritas awal gelombang P ke notepad, dan disimpan dengan nama file.DAT, (3) memasukkan nama input, output, serta nama stasiun ke program AZMTAK dan menyimpan filenya dengan nama file.OUT, (4) memasukkan nama output ke program PMAN, (5) menentukan bidang nodal, sesuai sebaran data kompresi dan dilatasi, sebagai bidang sesar, dan (6) menganalisis jenis sesar.

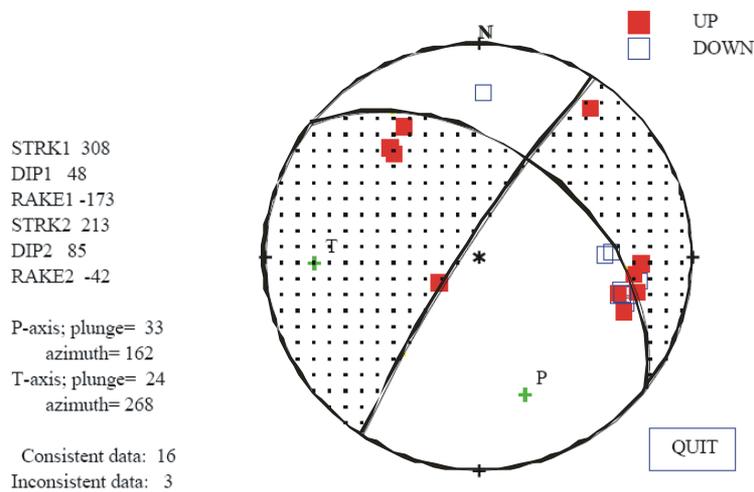
Pada metode bentuk gelombang harus melalui langkah-langkah sebagai berikut: (1) menerima data gempa pada SeisComP3, yaitu melihat origin time dan lokasi gempa pada SeisComP3, (2) melakukan JISNET data, yaitu pengkoreksian bentuk gelombang dari seismogram sintetis dengan observasi, (3) inversi bentuk gelombang, yaitu melakukan proses pengolahan bentuk gelombang sehingga diperoleh hasil mekanisme sumber gempa serta parameter-parameter sesarnya. Hasil dari penyelesaian mekanisme sumber gempa berupa sesar penyebab gempa dan parameternya. Untuk bentuk sesar dan penyelesaian mekanisme sumber gempa yang sederhana seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Bentuk penyelesaian mekanisme sumber gempa dan jenis sesarnya

HASIL DAN PEMBAHASAN

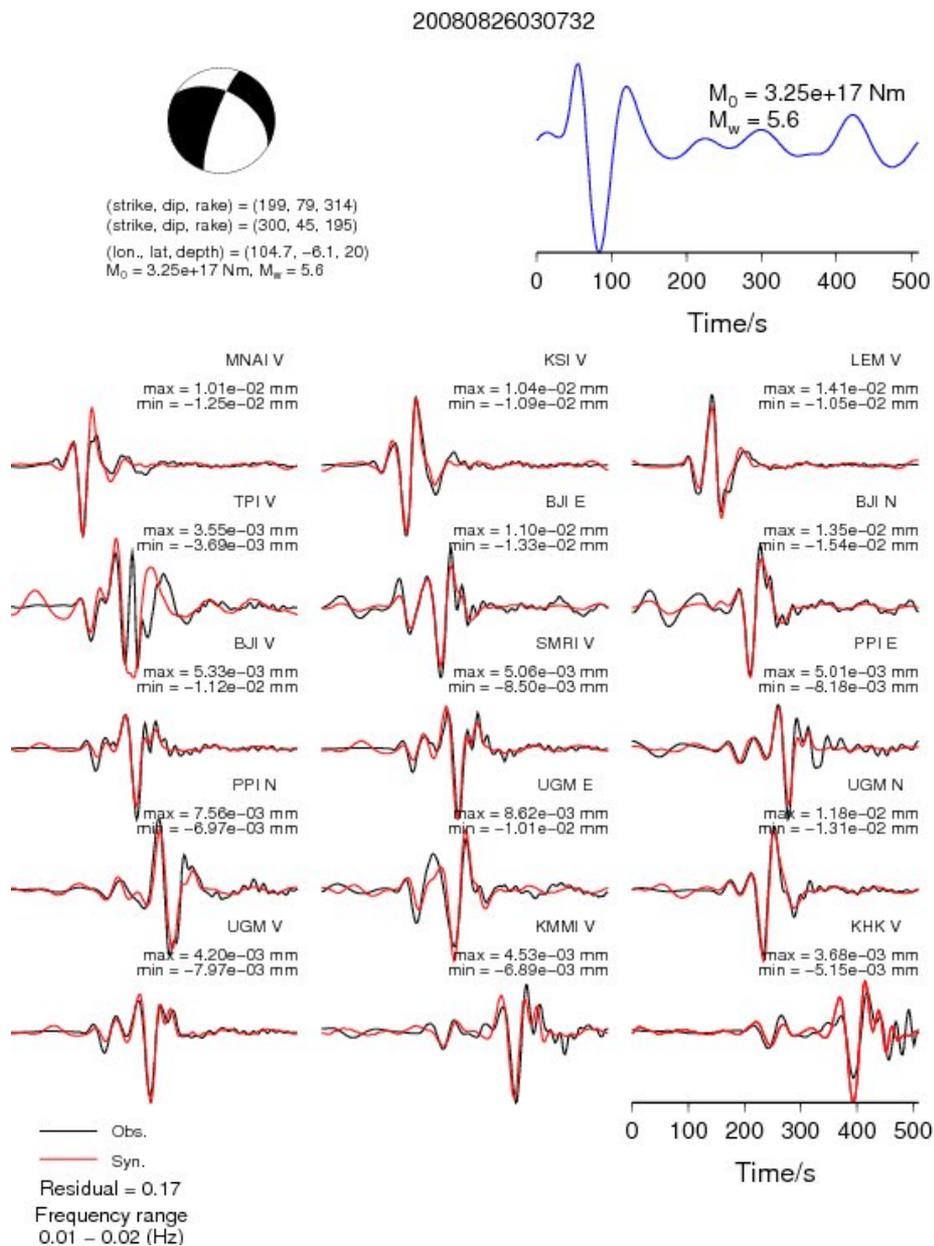
Gerak awal gelombang P



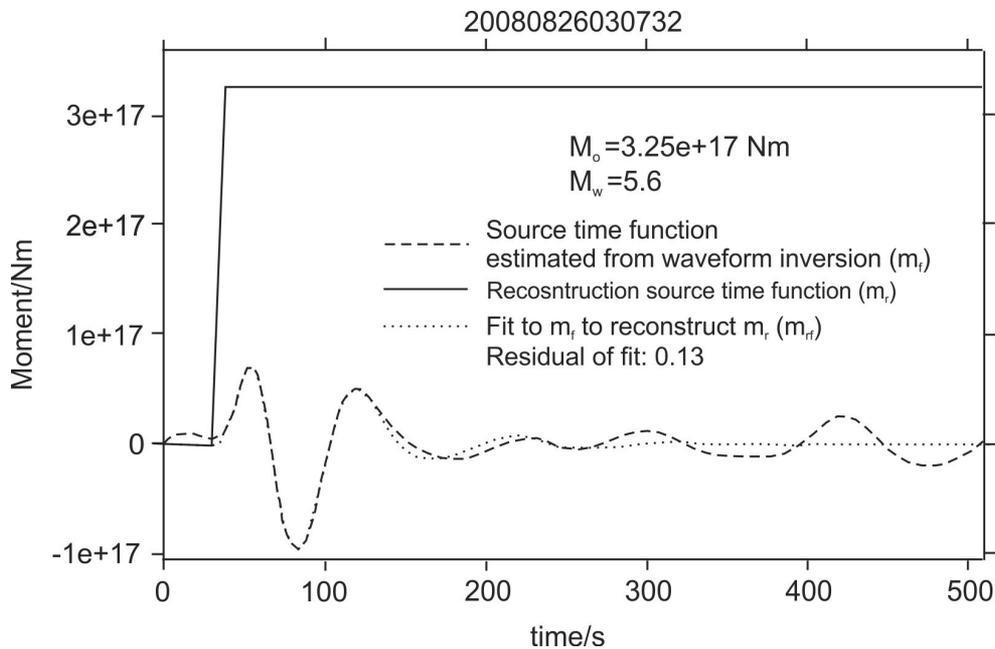
Gambar 6. Diagram mekanisme sumber hasil penyelesaian bidang sesar pada gempa selat Sunda tanggal 26 Agustus 2008

Hasil penelitian dari mekanisme sumber gempa di selat Sunda tanggal 26 Agustus 2008 dengan magnitude 5.6 skala richter yaitu, pada bidang nodal 1 mempunyai *strike* 308° , *dip* 48° , *rake* -173° , dan pada bidang nodal 2 mempunyai *strike* 213° , *dip* 85° , *rake* -42° (Gambar 6). Sehingga berdasarkan parameter tersebut diperoleh besarnya *dip* ialah $\neq 0^\circ$ atau $\neq 90^\circ$ dan besarnya *rake* ialah $\neq 180^\circ \leq \leq 0^\circ$.

Bentuk gelombang



Gambar 7. Hasil mekanisme sumber gempa dengan metode bentuk gelombang



Gambar 8. Kurva *Source Time Function*

Hasil penelitian pada gempa selat Sunda tanggal 26 Agustus 2008 dengan bentuk gelombang yaitu (Gambar 7 dan 8), pada bidang nodal 1 dengan *strike* 300° , *dip* 45° , dan *rake* 195° . Pada bidang nodal 2 dengan *strike* 199° , *dip* 79° , dan *rake* 314° . Seismogram hasil observasi digambarkan dengan garis hitam, sedangkan seismogram sintetis digambarkan dengan garis merah. Residual menunjukkan selisih dari hasil seismogram observasi dengan seismogram sintetis. Sedangkan hasil akhirnya ditunjukkan pada gambar bentuk gelombang berwarna biru, dengan magnitudo (M_w) 5.6 SR.

Berdasarkan parameter-parameternya, hasil bentuk gelombang tidak jauh berbeda dengan hasil pada gerak awal gelombang P. Parameter-parameternya yaitu, pada bidang nodal 1 dengan *strike* 300° , *dip* 45° , dan *rake* 195° . Pada bidang nodal 2 dengan *strike* 199° , *dip* 79° , dan *rake* 314° . Untuk membandingkan dengan hasil dari gerak awal gelombang P, maka harga *rake* pada gerak awal gelombang P harus ditambah 360° . Sehingga pada gerak awal gelombang P parameter-parameternya yaitu, pada bidang nodal 1 mempunyai *strike* 308° , *dip* 48° , *rake* 187° , dan pada bidang nodal 2 mempunyai *strike* 213° , *dip* 85° , *rake* 318° . Perbedaan-perbedaan dari metode bentuk gelombang dengan gerak awal gelombang P yaitu :

1. Metode bentuk gelombang memerlukan lebih sedikit data gelombang seismik dibanding gerak awal gelombang P.

Untuk menentukan bidang sesar, bentuk gelombang menggunakan meminimalan amplitudo

gelombang seismik dari seismogram observasi dengan seismogram sintetis. Walaupun hanya menggunakan beberapa data gelombang seismik dari masing-masing stasiun, tetapi jika amplitudo dan bentuk gelombang dari seismogram sintetis hampir sama dengan seismogram observasi, maka bidang sesarnya dapat diperoleh dengan mudah. Sedangkan dengan gerak awal gelombang P, diperlukan data arah gerak awal gelombang P lebih banyak dibanding data yang diperlukan oleh bentuk gelombang, karena akan sulit untuk menentukan bidang nodal dan bidang sesar dengan tepat bila distribusi data tidak merata.

2. Informasi yang diperoleh dari bentuk gelombang mencakup informasi yang diperoleh dari gerak awal gelombang P, dan juga beberapa informasi lainnya.

Dalam penentuan mekanisme sumber gempa, bentuk gelombang mempunyai informasi yang juga didapatkan pada gerak awal gelombang P, yaitu parameter-parameter sesar serta arah gerak awal gelombang P. Di samping itu informasi lain yang didapatkan bentuk gelombang adalah informasi mengenai amplitudo gelombang dan momen seismiknya, informasi ini tidak didapatkan pada gerak awal gelombang P.

3. Pada metode bentuk gelombang tidak memerlukan pembacaan arah gerak awal secara tepat seperti pada penentuan mekanisme sumber gempa dengan arah gerak awal gelombang P.

Metode bentuk gelombang menggunakan data dari bentuk gelombang seismik, sehingga pembacaan arah gerak awal gelombang P yang salah tidak mempengaruhi solusi bidang sesar. Berbeda dengan gerak awal gelombang P, bila salah dalam pembacaan arah gerak awal gelombang P maka bidang nodal dan sesar yang diperoleh menjadi tidak tepat.

4. Pada metode bentuk gelombang dapat ditentukan langsung bidang sesarnya (*fault plane*). Akan tetapi bila menggunakan data arah gerak awal gelombang P bidang sesar tidak bisa ditentukan secara langsung.

Bentuk gelombang merupakan metode dengan menggunakan program SWIFT Inversion yang langsung menghasilkan bidang sesar. Sedangkan pada gerak awal gelombang P hanya menghasilkan dua bidang nodal sebagai bidang sesar.

Dari perbedaan-perbedaan dua metode tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam penentuan mekanisme sumber gempa bumi di selat Sunda lebih teliti bila menggunakan metode bentuk gelombang, karena gempa bumi yang sering terjadi di selat Sunda merupakan gempa yang berkekuatan tidak terlalu besar, sehingga hanya sedikit stasiun gempa yang mendeteksinya.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :Secara umum, penentuan mekanisme sumber gempa dengan metode bentuk gelombang dapat menghasilkan bidang sesar yang sebenarnya dan relatif lebih teliti bila dibandingkan dengan menggunakan data arah gerak awal

gelombang P. Analisis mekanisme sumber gempa yang terjadi di Selat Sunda pada tanggal 26 Agustus 2008 dengan metode gerak awal gelombang P menghasilkan mempunyai harga *strike* 308° , *dip* 48° , *rake* -173° pada bidang nodal 1 dan *strike* 213° , *dip* 85° , *rake* -42° pada bidang nodal 2. Sedangkan dengan metode bentuk gelombang menghasilkan *strike* 300° , *dip* 45° , dan *rake* 195° pada bidang nodal 1. Pada bidang nodal 2 dengan *strike* 199° , *dip* 79° , dan *rake* 314° . Berdasarkan parameter sesar tersebut, maka gempa yang terjadi di Selat Sunda pada tanggal 26 Agustus 2008 merupakan sesar turun.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, disarankan sebagai berikut: Mengingat bahwa keterbatasan metode gerak awal gelombang P untuk menentukan bidang sesar adalah tidak tersedianya jumlah data yang cukup dan distribusi yang tidak merata, maka untuk peristiwa gempa sebaiknya distribusi data dapat merata. Metode bentuk gelombang dapat dikembangkan untuk menentukan mekanisme sumber gempa lokal dan gempa mikro, mengingat bahwa data untuk metode bentuk gelombang tidak membutuhkan banyak stasiun gempa sehingga lebih mudah dalam menentukan mekanisme sumber gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Karyadi, D. 2008. *Penentuan Pola Mekanisme Sumber Gempa Bumi Berdasarkan Polarisasi Pertama Gelombang P(Gempa Bumi Bengkulu 12 September 2007)*. Jakarta : Akademi Meteorologi dan Geofisika.
- Kawakatsu, H. dan G.P. Cadena. 1991. Focal Mechanisms of the March 6,1987 Ecuador Earthquakes (CMT Inversion with a First Motion Constraint). *J.Phys.Earth*, Vol 39, No.4. Japan : Geological Survey of Japan.
- Lashita, S. 2006. Seismically Active Deformation in The Sumatra- Java Trench Arc-Region : Geodynamic Implications. *Current Science Journal*, Vol 90, No.5. India : Department of Marine Geology and Geophysics.
- Plummer, C 2003. *Physical Geology*. New York : McGraw Hill Companies.