

RELOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI UTAMA DAN GEMPA BUMI SUSULAN MENGUNAKAN METODE *MODIFIED JOINT HYPOCENTER DETERMINATION* DI BALI

Anita Rahmasari

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Anitarahmasari96@gmail.com

Asnawi, Madlazim

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
Asnawi_unesa@yahoo.co.id
m_lazim@fisika.fmipa.unesa.ac.id

Abstrak

Indonesia memiliki posisi geografis yang terletak pada pertemuan tiga lempeng aktif dunia, sehingga menyebabkan Indonesia rawan terhadap bencana gempa bumi tektonik. Salah satu wilayah Indonesia yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan tinggi adalah Bali. Relokasi hiposenter gempa bumi telah banyak dilakukan dalam dunia seismologi. Namun, hiposenter yang diperoleh masih dianggap perlu ditingkatkan keakuratannya. Penelitian ini mempelajari relokasi hiposenter gempa bumi utama dan gempa bumi susulan dengan menggunakan metode MJHD (*Modified Joint Hypocenter Determination*) dengan tujuan merelokasi hiposenter gempa bumi Bali menjadi lebih akurat menggunakan metode MJHD. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan: 1) data yang diperoleh dari BMKG sebanyak 55 gempa diubah menjadi format data dalam MJHD; 2) dilakukan proses seleksi stasiun, diperoleh 74 stasiun serta data yang digunakan dalam relokasi yaitu sebanyak 10 gempa; 3) melakukan inversi menggunakan MJHD sebanyak 5 kali sehingga menghasilkan hiposenter terkoreksi yang selanjutnya dipetakan menggunakan GMT. Gempa utama sebelum relokasi terletak pada koordinat longitud 114.49, latitud -9.71, kedalaman 73 km yang mengalami perubahan kedalaman setelah relokasi yaitu dengan posisi hiposenter longitud 114.49, latitud -9.71 dengan kedalaman 73.05. Dimana hasil dari relokasi menunjukkan gempa bumi Bali tanggal 13 Oktober 2011-27 Desember 2011 mengalami perubahan hiposenter gempa yang lebih akurat dengan nilai $RMS=0.017$ serta menunjukkan sebaran gempa susulan yang menuju arah timur laut.

Kata Kunci: Relokasi hiposenter, gempa bumi Bali, MJHD.

Abstract

Indonesia located at the confluence of three active ground plate geographically, it makes Indonesia to be more sensitive from tectonic earthquake. One of the most regular place from earthquake is Bali. Many hypocenter relocation of earthquake study were done in seismology, but, the result must be more explore accurately. This study explore about hypocenter relocation of mainshock and aftershock of earthquake using MJHD method. The aim of this experiment is to serve hypocenter relocation of earthquake in Bali as accurately using MJHD. This experiment to do by doing this step: 1) data from BMKG in which 55 earthquakes are converted to be MJHD format data; 2) do station selection process and 74 stations are received, the data that use in this relocation is 10 earthquakes; 3) do inversion by using MJHD for five times so it gives hypocenter correction result that it will be mapping by using GMT. Location of mainshock of earthquake before relocation at longitude 114.49, latitude -9.71 coordinate, and depth is 73 km that have change the depth after relocation at longitude 114.49, latitude -9.71 coordinate, and depth is 73.05 km. The result of this relocation show that the Bali's earthquake at October 13th 2011 until December 27th 2011 have change hypocenter of earthquake is more accurately with $RMS=0.017$ and show that spread of aftershock of earthquake to the northeast.

Keywords: Hypocenter relocation, Bali's earthquake, MJHD.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki posisi geografis yang terletak pada pertemuan tiga lempeng aktif dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik sehingga menyebabkan Indonesia rawan terhadap bencana gempa bumi tektonik.

Bali dan sekitarnya merupakan salah satu kawasan yang rawan terhadap gempa bumi. Kerawanan dari utara disebabkan oleh adanya patahan belakang busur yang mengakibatkan adanya sesar-sesar aktif di utara Bali. Kerawanan Bali dari selatan disebabkan oleh aktifitas subduksi lempeng yang menimbulkan gempa-gempa subduksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa Bali merupakan daerah yang rawan terhadap gempa bumi (Daryon, 2004).

Gempa bumi merupakan bergetarnya permukaan tanah kerna pelepasan energy secara tiba-tiba akibat pecah atau *slipnya* massa batuan di lapisan kerak bumi. Sejarah kegempaan yang pernah terjadi di Bali diantaranya gempa Seririt 1976 menewaskan 559 orang, gempa Culik 1979 yang menewaskan 25 orang dan terakhir gempa Karangasem 2 Januari 2004 yang menyebabkan kerugian harta benda yang sangat besar (Daryono, 2004). Hal tersebut merupakan bukti bahwa Bali merupakan daerah yang rawan terhadap gempa bumi. Upaya mitigasi diperlukan untuk mengurangi dampak dari bencana yang terjadi. Penelitian yang perlu dilakukan yaitu relokasi dalam menentukan lokasi hiposenter gempa bumi yang lebih akurat. Salah satu metode relokasi yang ada yaitu menggunakan metode MJHD.

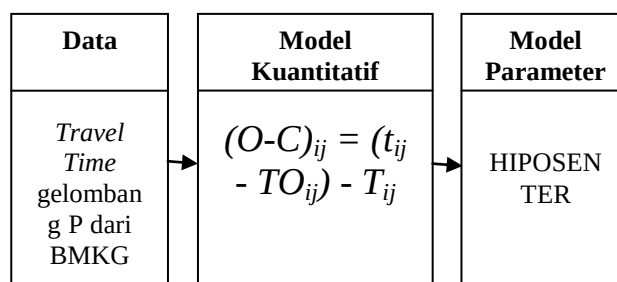
Metode MJHD merupakan metode yang dikembangkan dari metod sebelumnya yaitu JHD. Dimana parameter yang akan berubah adalah waktu terjadinya gempa bumi, lintang, bujur, dan kedalaman hiposenter gempa bumi dengan koreksi stasiun yang tidak bergantung pada jarak dan azimut dari pusat daerah gempa dengan stasiun pengamat yang digunakan (Hurukawa, 1992).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Putri (2012) tentang relokasi menggunakan metode MJHD

menghasilkan relokasi gempa di Mentawai dengan hasil terdapat perubahan pada Origin Time, longitud, latitud, dan kedalaman. Origin Time BMKG setelah relokasi mengalami perubahan 2 menit lebih cepat dari BMKG sebelum relokasi, kedalaman hiposenter gempa utama berubah dari 11 km menjadi 27.88 km, dan posisi gempa utama mengalami perubahan koordinat dari longitud 100.14, latitud -3.49 menjadi longitud 99.9141, dan latitud -3.5986. Dalam kasus ini penelitian dilakukan untuk relokasi gempa di Bali yang terjadi pada tanggal 13 Oktober 2011 sampai 27 Desember 2011 yang bertujuan untuk merelokasi hiposenter gempa bumi Bali menjadi lebih akurat dengan menggunakan metode MJHD.

METODE

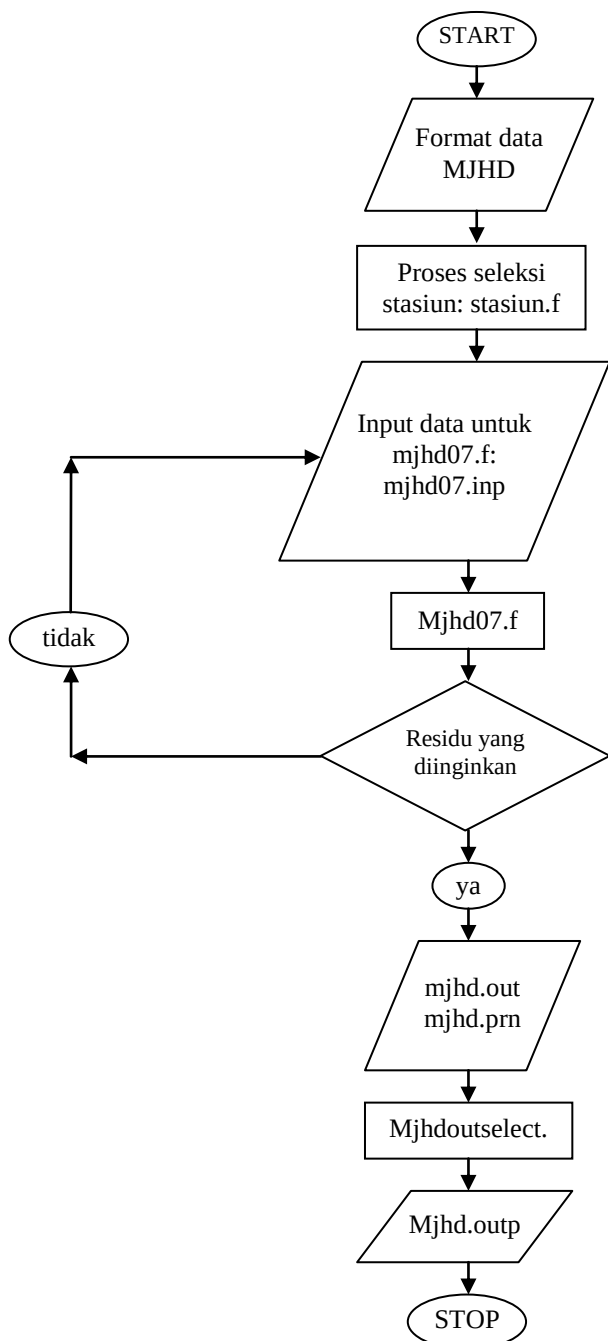
Penelitian relokasi hiposenter ini, diawali dengan pengambilan data *travel time* gelombang P dari BMKG untuk gempa bumi Bali tanggal 13 Oktober 2011 sampai 27 Desember 2011, selanjutnya melakukan relokasi dengan menggunakan MJHD sehingga akan menghasilkan hiposenter gempa baru yang lebih akurat. Secara garis besar dapat digambarkan pada bagan berikut:



Gambar 1. Kerangka berfikir.

prosedur pengolahan data dilakukan dengan tahapan, pertama merubah format data dari BMKG menjadi format data pada MJHD. Kedua melakukan proses seleksi stasiun yang menghasilkan stasiun-stasiun pencatat untuk digunakan dalam relokasi. Dalam seleksi stasiun sendiri didasarkan pada nilai MEQ dan MNST yang telah ditentukan. *Minimum Number of Earthquake at Each Station* (MEQ) merupakan jumlah minimal gempa yang dicatat sebuah stasiun, dan *Minimum Number Of Station*

at Each Earthquake (MNST) merupakan jumlah minimal stasiun yang mencatat sebuah gempa bumi. Pada penelitian ini digunakan MEQ dan MNST sebesar 10. Ketiga melakukan inversi menggunakan MJHD dengan melakukan beberapa iterasi sehingga diperoleh hiposenter yang lebih akurat dan kemudian akan dipetakan menggunakan GMT. *Generic Mapping Tool* (GMT) merupakan program yang digunakan untuk pemetaan hiposenter gempa bumi sebelum relokasi maupun sesudah relokasi. Berikut merupakan diagram alir dari relokasi menggunakan MJHD:



HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Relokasi Hiposenter Gempa Bui Bali Sebelum dan Sesudah Relokasi

Pada relokasi ini, model kecepatan yang digunakan adalah model kecepatan global IASP91. IASP91 merupakan model kecepatan bumi satu dimensi yang dihasilkan oleh *International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior* (IASPEI) dari pemodelan menggunakan ribuan data gelombang P dan gelombang S yang direkam oleh ribuan seismometer di seluruh dunia. IASP91 memiliki kelebihan memperhitungkan lapisan diskontinuitas yang terdapat di kerak bumi pada kedalaman 20 dan 35 km, serta di mantel bumi pada kedalaman 410 dan 660 km. selain itu, IASP 91 juga memperhitungkan distribusi sumber *event* seismic buatan maupun gempa bumi dan stasiun pencatat yang tidak seragam.

Gempa bumi yang diperoleh dari BMKG sebagai masukkan awal dalam perhitungan relokasi berjumlah 55 gempa bumi yang terdiri dari 1 gempa utama dan 54 gempa susulan. Namun, karena terdapat persyaratn MEQ dan MNST sebesar 10 maka tidak semua gempa dapat digunakan dalam proses relokasi. Selain syarat tersebut juga terdapat ketentuan menggunakan data fase gelombang yang memiliki residu tempuh (O-C) minimal dua detik. Dari data awal sejumlah 55 hanya 10 gempa yang dapat direlokasi.

Tabel berikut menunjukkan parameter gempa bumi yang memenuhi syarat untuk direlokasi. Magnitud terkecil gempa bumi yang direlokasi adalah 3.4 SR yaitu pada data nomor 7 dan nomor 9. Gempa bumi dengan magnitud 3.4 termasuk gempa kecil, namun karena memenuhi syarat tercatat minimal oleh 10 stasiun maka gempa tersebut termasuk gempa yang dapat direlokasi.

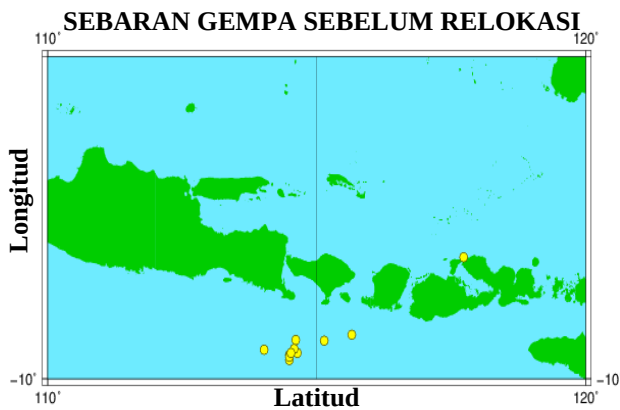
*Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Utama Dan Gempa Bumi Susulan
Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination Di Bali*

Tabel 1. Parameter gempa bumi BMKG yang dapat direlokasi.

stasiun pencatat yang digunakan dalam relokasi diambil dari *google earth* sebagai berikut:

No	Tanggal	Jam	Menit	Detik	Lintang	Bujur	Depth (Km)	Mag	Jumlah Fase
1	111013	3	16	99.99	114.49	-9.71	73.05	6.4	58
2	111013	7	50	12.66	114.49	-9.63	62.08	5.3	54
3	111014	20	9	18.53	114.49	-9.66	45.68	3.8	10
4	111017	23	33	99.99	114.58	-9.54	44.2	4.6	11
5	111024	18	55	99.99	115.14	-9.41	39.17	3.8	10
6	111025	12	19	0.73	114.61	-9.399	54.21	3.6	10
7	111027	18	7	99.99	117.73	-8.12	11.98	3.4	10
8	111104	14	57	15.9	115.65	-9.319	65.13	5.1	49
9	111125	17	33	99.99	114.02	-9.549	3.6	3.4	10
10	111206	16	50	9.88	114.52	-9.6	5.38	4.1	12

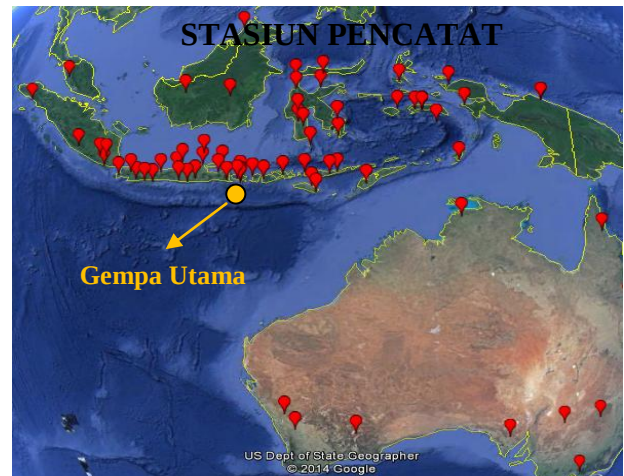
Berikut merupakan peta dari sebaran gempa yang akan direlokasi:



Gambar 2. Distribusi hiposenter gempa bumi sebelum relokasi.

Gambar 2 merupakan gambar distribusi hiposenter gempa bumi awal dari BMKG sebelum relokasi, namun gempa yang dipetakan tersebut merupakan gempa yang memenuhi syarat untuk dilakukan relokasi menggunakan metode MJHD.

Berdasarkan syarat dari MEQ dan MNST menyebabkan tidak semua stasiun akan diikuti dalam proses relokasi. Hanya stasiun yang mencatat minimal 10 gempa serta pemilihan residual waktu tempuh (O-C) yang kecil yaitu minimal dua detik. Sehingga diperoleh peta



Gambar 3. Stasiun pencatat yang digunakan dalam relokasi.

Jumlah stasiun yang digunakan adalah 74 stasiun dimana hampir seluruh stasiun yang digunakan terletak disekitar hiposenter gempa bumi utama. Stasiun pencatat yang digunakan banyak yang terletak di wilayah Indonesia, namun terdapat juga beberapa stasiun dari negara lain yang diikuti dalam relokasi. Selain karena stasiun tersebut memenuhi syarat mencatat minimal 10 gempa dan memiliki residu waktu tempuh minimal dua detik, stasiun yang jauh akan memberikan kontribusi terutama pada penentuan kedalaman hiposenter tetapi tidak untuk episenter.

*Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Utama Dan Gempa Bumi Susulan
Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination Di Bali*

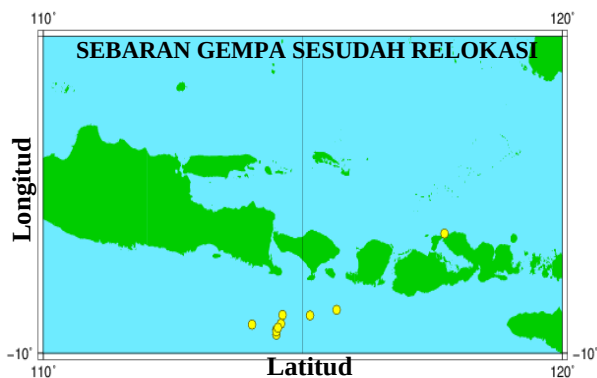
Tabel 1 akan direlokasi menggunakan program MJHD berdasarkan stasiun pencatat yang digunakan. Sehingga diperoleh parameter gempa setelah relokasi sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter hasil relokasi.

No	Origin Time	dt	Longitud	dy	Latitud	dx	Depth (km)	dz	Mag
1	111013 31699.99	0.33	114.4901	0.0174	-9.7099	0.0375	73.050	5.57	6.4
2	111013 75012.66	0.46	114.4901	0.0238	-9.6296	0.0509	62.080	7.91	5.3
3	11101420 918.53	1.86	114.4901	0.0852	-9.6599	0.1681	45.686	0.65	3.8
4	111024185599.99	0.49	114.5800	0.0207	-9.5398	0.0619	44.203	2.96	4.6
5	111024185599.99	0.52	115.1400	0.0214	-9.4098	0.0665	39.173	5.86	3.8
6	1110251219 0.73	0.19	114.6100	0.0092	-9.3995	0.0223	54.210	5.56	3.6
7	11102718 799.99	0.46	117.7300	0.0105	-8.1198	0.0308	11.980	3.87	3.4
8	1111 4145715.90	0.28	115.6499	0.0175	-9.3193	0.0353	65.130	5.64	5.1
9	111125173399.99	1.59	114.0199	0.0229	-9.5493	0.0772	3.600	8.79	3.4
10	1112 61650 9.88	0.8	114.5199	0.0166	-9.5997	0.0447	5.380	4.09	4.1

diperoleh dari BMKG.

Dari data pada Tabel 2 dapat dilihat distribusi sebaran gempa setelah relokasi yang terjadi pada gambar berikut:



Gambar 4. Distribusi hiposenter gempa bumi sesudah relokasi

B. Pembahasan

Hasil relokasi pada gempa bumi utama tidak mengalami perubahan yang signifikan. Perubahan yang terjadi yaitu pada *Origin Time* dan kedalaman. Dimana hiposenter gempa bumi awal sebelum relokasi terletak pada longitud 114.49, latitud -9.71, kedalaman 73 km sedangkan hiposenter gempa bumi setelah relokasi

terletak pada longitud 114.49, latitud -9.71, dan kedalaman 73,05 km. Hal tersebut karena penentuan nilai MNST yang kecil yaitu sebesar 10 menyebabkan stasiun yang berada jauh dari lokasi hiposenter gempa utama tetap diikuti pada proses relokasi. Penentuan MNST sendiri juga dipengaruhi oleh kualitas data awal yang

Tabel 3. Perbandingan parameter gempa bumi utama.

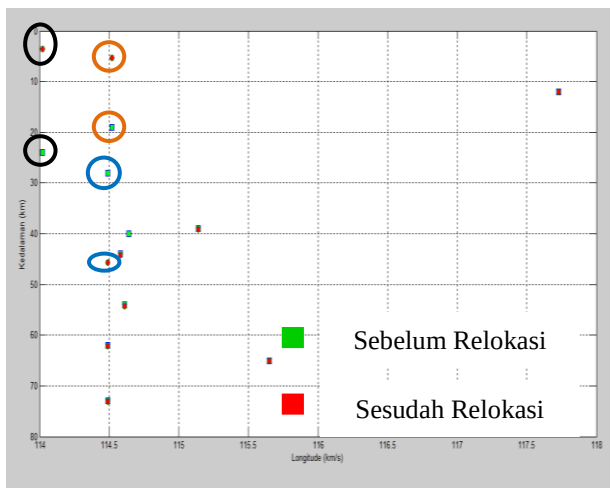
N o	Instansi	Origin Time (GMT)	Long	Lat	Depth (km)	Mag
1	BMKG (Sebelum Relokasi)	3:16:31	114.49	-9.71	73	6.4 Mw (mb)
2	USGS	3:16:31	114.49	-9.71	73	6.4
3	Global CMT	3:16:34	114.65	-9.69	57.8	6.2 Mw
4	BMKG (Sesudah Relokasi)	3:17:40	114.49	-9.71	73.05	6.4 Mw (mb)

Origin Time juga mengalami perubahan yaitu 1 menit lebih lambat dari waktu sebelumnya dari BMKG. Hasil ini dinilai lebih akurat karena ditunjukkan dengan sebaran gempa setelah relokasi sesuai dengan kondisi geologis daerah setempat yaitu berada di zona subduksi sehingga menghasilkan gempa-gempa dangkal. Selain itu, hiposenter gempa bumi setelah relokasi juga memiliki

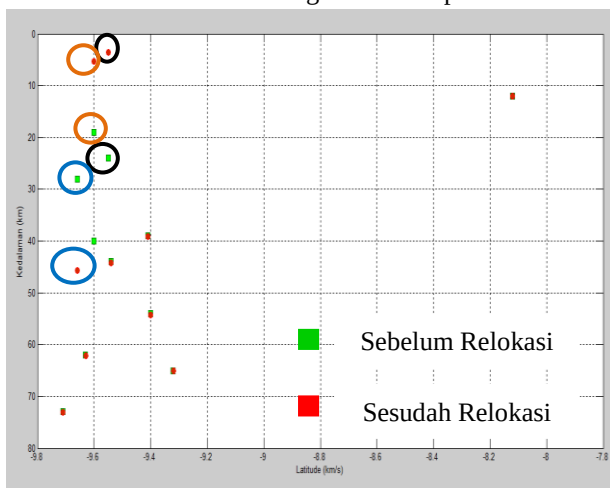
Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Utama Dan Gempa Bumi Susulan Menggunakan Metode Modified Joint Hypocenter Determination Di Bali

nilai koreksi stasiun yang cukup kecil. Dengan syarat yang ada yaitu $RMS < 1$ dihasilkan $RMS = 0.017$, dimana semakin kecil nilai RMS maka hasil relokasi akan semakin akurat.

Gempa-gempa susulan juga mengalami perubahan parameter baik kedalaman, lokasi maupun waktu terjadinya gempa bumi khususnya tiga gempa yang mengalami perubahan hiposenter cukup jauh yaitu gempa pada kedalaman 28 menjadi 45.68 km, 24 menjadi 3.60 km, dan 19 menjadi 5.38 km. Hal tersebut dikarenakan hiposenter yang lebih mendekati area zona subduksi memiliki kedalaman yang dangkal dan hiposenter yang terletak jauh dari zona subduksi memiliki kedalaman yang dalam.



Gambar 4. Sebaran longitud terhadap kedalaman



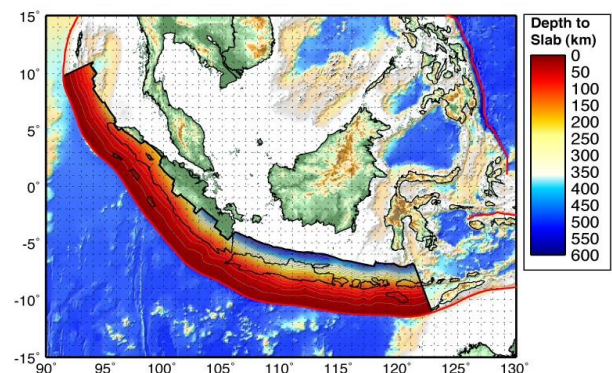
Gambar 5. Sebaran latitud terhadap kedalaman

Dari 10 sebaran gempa yang direlokasi menunjukkan perubahan yang signifikan hanya terjadi pada tiga gempa

di kedalaman 28 km, 24 km, dan 19 km. Hal tersebut dikarenakan sebelum relokasi posisi dari ketiga gempa tersebut kurang presisi dari jalur sebaran gempa akibat dari gempa utama yang terjadi. Dapat dilihat pada Gambar 4 dimana sebaran gempa susulan setelah relokasi lebih presisi dari jalur kegempaan yang menuju arah timur laut.

Dari sebaran gempa susulan yang terjadi, terdapat satu gempa pada kedalaman 3.6 km yang terletak di atas permukaan dari kerak samudera atau terjadi di dalam perairan dan bukan merupakan sumber gempa. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena pergerakan lempeng di selatan Bali merupakan pergerakan lempeng konvergen, yaitu lempeng Indo-Australia bertumbukan dengan lempeng Eurasia. Namun, karena densitas dari lempeng Indo-Australia lebih besar dari lempeng Eurasi sehingga menghasilkan sumber gempa di kerak samudra dengan kedalaman yang dangkal.

Berdasarkan model slab Sumatera-Jawa hiposenter gempa bumi setelah relokasi menunjukkan kondisi yang sesuai dengan kondisi geologis daerah setempat yaitu tepat di zona subduksi sehingga menghasilkan gempa-gempa dangkal $h < 80$ km.



Gambar 6. Model slab zona subduksi Sumatera-Jawa (USGS, 2010B)

Bali mempunyai dua karakteristik gempa subduksi yaitu gempa *Megathrust* yang merupakan gempa akibat penyusupan dangkal dan gempa *Benioff* yang merupakan gempa akibat penyusupan dalam. Sehingga gempa yang terjadi di selatan Bali tanggal 13 Oktober 2011 sampai 27 Desember 2011 merupakan gempa *Megathrust*.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisa yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan, berdasarkan sebaran hiposenter gempa bumi hasil dari relokasi menggunakan metode MJHD dapat diidentifikasi bahwa gempa bumi yang terjadi di wilayah selatan Bali tanggal 13 Oktober 2011 sampai 27 Desember 2011 mengalami perubahan hiposenter gempa yang lebih akurat dengan nilai koreksi stasiun $RMS=0.017$ serta menunjukkan sebaran gempa susulan yang menuju arah timur laut.

Saran

Saran penulis untuk penelitian yang akan datang tentang relokasi gempa bumi menggunakan metode MJHD adalah:

1. Menggunakan model kecepatan lokal, sehingga hasil yang diperoleh diharapkan lebih akurat.
2. Menggunakan fase gelombang lain selain gelombang P, misalnya fase gelombang S.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryono. 2004. *Sejarah Kegempaan Pulau Bali dan Sumbawa*. BMKG Balai Besar Wilayah III Denpasar.
- Daryono. 2004. Bali Memang Rawan Gempa. *Bali Pos*, 8 Januari 2004.
- Hurukawa, N., and M. Imoto. 1990. Fine Structure of an Underground Boundary Between the Philippine Sea and Pacific Plates Beneath the Kanto District, Japan, Zisin, *Journal of The Seismologi School Japan*, 413-429.
- Hurukawa, N., and M. Imoto. 1992. Subducting Oceanic Crust of the Philippine Sea and Pacific Plates and Weak-Zone-Normal Compression in Kanto District, Japan, *Geophys. J. International*, 109, 639-652.
- Kennett, B. L. N and E. R. Engdahl. 1991. Traveltime for global earthquake location and fase identification. *Geophysic Journal International*, 105, 429-465.
- Putri, Yanuarsih. 2012. *Relokasi Gempabumi Utama dan Gempabumi Susulan Menggunakan Metode MJHD (Studi Kasus Gempabumi Mentawai 25 Oktober 2010)*. Tugas Akhir Program Studi Fisika, UI.

UNESA. 2000. *Pedoman Penulisan Artikel Jurnal*, Surabaya: Lembaga Penelitian Universitas Negeri Surabaya.

United States Geological Survey. (December 01, 2010B 16:19:40 UTC). Slab Models for Subduction Zones. Di unduh <http://earthquake.usgs.gov/research/data/slab/>. Pada tanggal 17 Desember 2013.