

Studi Zona Tektonik di Wilayah Taiwan berdasarkan Pemetaan Hiposenter

Susi Anggraini Diah Ningrum,* Arya Dwi Candra, dan Bagus Jaya Santosa
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Intisari

Taiwan merupakan negara yang memiliki tingkat deformasi kerak bumi yang cukup tinggi dan aktivitas kegempaan yang kuat. Taiwan terletak di batas pertemuan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Laut Filipina yang merupakan salah satu daerah seismik yang paling aktif di dunia. Pada abad ke-20, bencana gempabumi di Taiwan menyebabkan kerusakan yang sangat besar dan sangat mempengaruhi kehidupan masyarakat. Dengan mengetahui jenis gempabumi berdasarkan letak hiposenternya, maka dapat diketahui pula gempabumi tersebut termasuk kategori gempa yang berpotensi menghancurkan atau tidak. Relokasi hiposenter menggunakan software Hypo71 bertujuan mendapatkan posisi hiposenter yang lebih presisi. Data yang digunakan adalah gempa dengan kekuatan $> 4,7$ yang terekam selama rentang waktu 1 Januari 2009 - 31 Desember 2010. Software Hypo71 membutuhkan data masukan tebakan awal yang berupa nama stasiun, letak stasiun, model kecepatan bumi, dan identitas kejadian gempa yang meliputi tanggal, bulan, tahun, waktu tiba gelombang P dan gelombang S. Hasil relokasi gempa dengan menggunakan Hypo71 menunjukkan bahwa lokasi hiposenter memiliki sebaran yang lebih fokus daripada sebaran hiposenter sebelum relokasi. Hal ini dapat menjelaskan adanya koherensi antara tren posisi hiposenter dengan kondisi tektonik di wilayah penelitian, yaitu di sekitar zona patahan di Longitudinal Valley dan zona subduksi antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Laut Filipina.

Abstract

Taiwan has a high rate of crustal deformation and a strong seismic activity. Taiwan is located on the convergent boundary between the Eurasian and the Philippine Sea plates, and is one of the most active seismic regions in the world. In the 20th century, disastrous earthquakes in this region have caused great damage to the human lives. It is thus important to recognize type of earthquake according to the depth for the purposes of future earthquake hazard evaluation. In this study used Hypo71 software to improve the accuracy of hypocenter. We use the earthquake of $M > 4.7$ and occurred in the period of 1 January 2009 to 31 December 2010. The identity of stations and events, such as name and location of stations, arrival time of P and S wave, and the initial velocity models is used as input of Hypo71. The result of the hypocenter relocation shows that the distribution of the relocation hypocenters more focus than the distribution of prior hypocenters. It may explain the absence of coherence between hypocenters with tectonic structures of fault zones along the eastern part of Longitudinal Valley and the subduction of the Philippine Sea plate and the Eurasian plate.

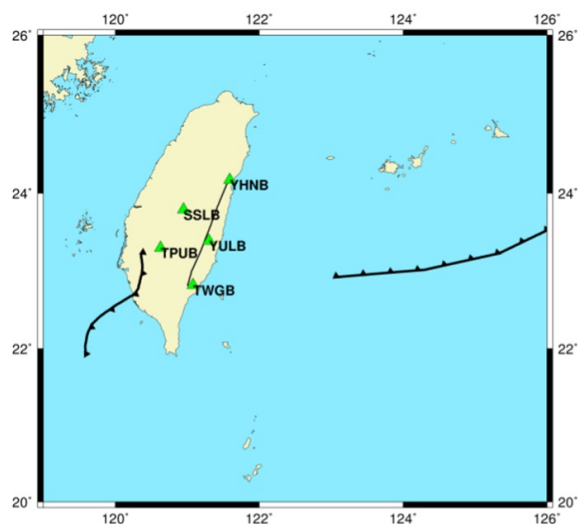
KATA KUNCI: hypocenter relocation, Hypo71, Philippine sea plate, Taiwan

I. PENDAHULUAN

Taiwan terletak dibagian barat dari sabuk seismik *Pacific Rim* [1]. Taiwan berada pada batas konvergen antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Laut Filipina, yang merupakan salah satu daerah seismik paling aktif di dunia [2]. Lempeng Laut Filipina bergerak ke arah barat daya dengan kecepatan 8 cm/tahun relatif terhadap Lempeng Eurasia [3–5]. Di sebelah timur, Lempeng Laut Filipina menumbuk kearah utara di bawah Lempeng Eurasia sepanjang Palung Ryuku. Di ujung Taiwan bagian selatan, Lempeng Eurasia menumbuk sepanjang Palung Manila di bawah Lempeng Laut Filipina [5].

Jalur orogenitas Taiwan terletak antara Laut Cina Selatan dan pulau utama Taiwan. Jalur orogenitas ini merupakan ujung dari dua zona subduksi, yaitu Palung Manila dan Palung Ryuku. Dua patahan aktif yang terdapat di pulau utama Taiwan adalah Patahan Lishan dan Lichi Melange yang terdapat di Longitudinal Valley. Patahan Lishan terletak diantara Hsuehshan Range dan Central Range yang termasuk dalam jenis patahan normal. Patahan Lishan memisahkan batuan pasir dan batu tulis Oligosen dibagian barat Hsuehshan Range dengan batu tulis Miosen dibagian timur Central Range. Jenis batuan ini merupakan batuan sedimen dari Laut Cina Selatan, dengan tingkat metamorfik batuan meningkat dari barat ke timur melewati patahan. Zona patahan berikutnya adalah Lichi Melange yang merupakan bagian dari subduksi kompleks disisi barat bekas busur gunung api dari subduksi Laut Cina Selatan. Lichi Melange terdiri dari batuan sedimen yang

*E-MAIL: susi.anggraini13@mhs.physics.its.ac.id



Gambar 1: Lokasi penelitian dan persebaran stasiun pencatat gempa dalam jaringan TW.

berasal dari pesisir Cina dan Busur Luzon.

Taiwan termasuk pulau yang memiliki rata-rata deformasi kerak bumi yang cukup tinggi, aktivitas seismik yang kuat, dan banyak bencana gempa yang terjadi [1]. Deformasi maksimum terjadi di lepas pantai selatan pulau dan semakin berkurang ke arah utara. Hal ini disebabkan oleh sifat alami kemiringan dari tumbukan. Gempabumi yang terjadi di Taiwan dapat diklasifikasikan dalam dua kategori menurut penyebabnya, yaitu gempabumi yang disebabkan oleh subduksi Lempeng Laut Filipina ke arah utara di bawah Lempeng Eurasia dan gempabumi yang disebabkan oleh patahan aktif yang berada di pulau utama Taiwan.

Pada abad ke-20, bencana gempabumi di Taiwan menyebabkan kerusakan yang sangat besar dan sangat mempengaruhi kehidupan masyarakat [2]. Dengan jumlah gempabumi yang sangat banyak di Taiwan, maka diperlukan analisis latar belakang, distribusi seismisitas, serta jenis gempa sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak dari gempabumi dimasa yang akan datang [2]. Dengan mengetahui jenis gempabumi berdasarkan letak hiposenternya, maka dapat diketahui pula gempabumi tersebut termasuk kategori gempa yang berpotensi menghancurkan atau tidak. Relokasi hiposenter menggunakan software Hypo71 bertujuan mendapatkan posisi hiposenter yang lebih presisi. Distribusi hiposenter yang presisi akan memberikan informasi spasial pada suatu area gempa yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk menggambarkan kondisi tektonik area tersebut [6].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data katalog yang diunduh dari www.iris.edu/wilber3/find_event. Data gempa yang digunakan adalah data yang terekam oleh stasiun pada jaringan *Broadband Array in Taiwan for Seismology* (TW) yang ditun-

TABEL I: Model kecepatan bumi di wilayah Taiwan [1].

Kedalaman (km)	Vp (km/s)	Vp/Vs
0	3.9	1.87
2	4.64	1.76
4	5.17	1.72
6	5.22	1.71
9	5.64	1.71
13	6.02	1.73
17	6.3	1.74
21	6.58	1.74
25	6.74	1.74
30	7.11	1.74
35	7.52	1.74
50	7.98	1.73
70	8.25	1.75
90	8.28	1.72
110	8.38	1.73
140	8.4	1.74
200	8.7	1.74
700	9	1.73

jukkan dengan simbol segitiga hijau pada Gambar 1. Jumlah gempa dengan kekuatan $> 4,7$ yang terekam selama rentang waktu 1 Januari 2009 - 31 Desember 2010 sebanyak 95 kejadian.

Data yang diunduh dalam format SAC kemudian diolah menggunakan software SeisGram2K60 untuk mendapatkan waktu tiba gelombang P (tp) dan gelombang S (ts) melalui proses picking manual.

Agar mendapatkan waktu tiba gelombang P dan gelombang S secara presisi, maka dilakukan perhitungan estimasi waktu tiba dengan menggunakan software TauP-2.1.1. Pada umumnya penentuan waktu tiba gelombang S relatif lebih sulit jika dibandingkan dengan penentuan waktu tiba gelombang P. Oleh karena itu, data estimasi waktu tiba gelombang P dan S dari software TauP-2.1.1 akan memudahkan proses picking dengan SeisGram2K60. Perangkat lunak Seisgram2K60 merupakan perangkat lunak yang dapat menampilkan gelombang gempa dengan bentuk sinyal tegangan listrik. Waktu tiba gelombang P (tp) diperoleh dari picking yang dilakukan pada komponen vertikal gelombang (BHZ), sedangkan waktu tiba gelombang S diperoleh dari picking yang dilakukan pada komponen *horizontal northing* (BHN) atau *easting* (BHE). Gelombang P diindikasikan sebagai usikan pertama yang terekam dalam seismogram, sedangkan gelombang S diketahui dari perubahan fase gelombang P.

Software Hypo71 untuk merelokasi hiposenter sumber gempa. Software Hypo71 membutuhkan data masukan tebakan awal yang berupa identitas kejadian gempa yang meliputi tanggal, bulan, tahun, waktu tiba gelombang P dan gelombang S, identitas stasiun yang meliputi nama stasiun, dan letak stasiun, serta model kecepatan bumi seperti yang ditampilkan pada Tabel I. Dimana model kecepatan bumi yang digunakan adalah model kecepatan yang ditentukan dengan menggunakan program VELEST [1, 7] dan hingga kini digunakan oleh *Central Weather Bureau* [1]. Nama file untuk data masukan ini adalah Hypo71PC.INP kemudian setelah

TABEL II: Hiposenter gempabumi sebelum dan setelah relokasi.

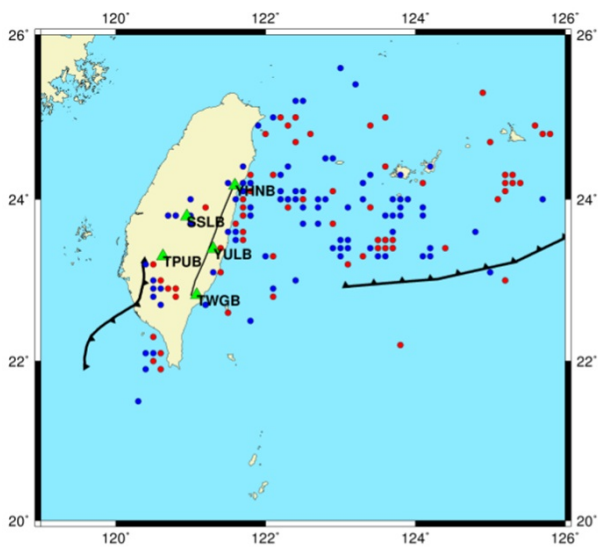
Tgl	Katalog IRIS			Hypo71			RMS
	Latt	Long	Depth	Latt	Long	Depth	
3/1/09	24,2	121,8	15	24,2	121,7	15,8	0,73
6/1/09	24,2	124,1	25	24,0	123,8	29,8	0,92
19/1/09	24,1	125,2	13	23,8	123,8	13,1	0,62
24/1/09	24,8	125,7	41	24,0	123,9	41,3	0,51
9/2/09	22,7	121,2	16	22,7	121,2	15,2	0,54
15/3/09	24,7	122,4	20	25,4	123,2	20,6	0,19
2/4/09	23,2	123,1	10	24,0	123,3	11,0	0,53
2/4/09	24,8	125,8	40	24,0	123,8	40,1	0,57
17/4/09	23,9	121,8	40	23,9	121,8	39,1	0,58
29/4/09	23,9	123,4	29	23,6	124,8	29,4	0,39
19/6/09	23,9	122,3	17	24,4	124,2	17,1	0,55
20/6/09	24	122,5	52	24,2	123,3	52,1	0,50
24/6/09	24	122,3	31	24,0	122,4	30,1	0,71
24/6/09	24	122,3	30	24,0	122,3	30,4	0,75
28/6/09	24,2	121,8	16	24,2	121,5	16,8	0,51
28/6/09	24,2	121,8	17	24,2	121,7	16,8	0,29
3/7/09	24	122,4	17	24,1	122,2	17,6	0,46
3/7/09	24	122,3	25	24,1	122,4	25,5	0,94
7/7/09	23,9	122,5	16	23,9	122,7	15,7	0,41
13/7/09	24	122,2	33	24,1	122,4	32,5	0,83
13/7/09	24,1	122,2	24	24,0	122,7	23,5	0,62
16/7/09	24	122,3	33	24,0	122,2	33,8	0,49
16/7/09	24	122,3	30	24,1	122,2	31,1	0,66
26/7/09	23,4	121,4	16	23,4	121,3	15,9	0,54
26/7/09	23,7	121	19	23,7	121,0	16,9	0,42
29/7/09	22	120,5	19	21,5	120,3	18,4	0,41
5/8/09	24,3	125,2	31	24,0	125,7	30,6	0,56
8/8/09	24,3	125,2	24	23,9	123,1	24,8	0,65
17/8/09	23,4	123,7	25	23,3	124,1	22,5	0,41
17/8/09	23,4	123,6	18	23,3	123,5	18,3	0,34
17/8/09	23,5	123,6	22	23,4	123,4	22,6	0,34
18/8/09	23,5	123,6	14	23,5	123,1	14,6	0,46
18/8/09	23,5	123,5	21	23,5	123,0	20,8	0,46
18/8/09	23,4	123,5	28	23,3	123,6	28,2	0,45
18/8/09	23,5	123,6	15	23,3	124,2	15,1	0,60
18/8/09	23,5	123,6	20	23,1	125,0	20,5	0,21
20/8/09	23,5	123,5	33	23,7	122,5	32,7	0,44
21/8/09	22,3	120,5	29	21,9	120,4	30,0	0,50
7/9/09	23,6	126,4	15	23,4	121,3	15,1	0,37
12/9/09	24	122,5	18	23,9	122,5	16,9	0,62
30/9/09	23,4	124,4	31	23,4	124,2	31,8	0,23
3/10/09	23,7	121,6	25	23,6	121,6	25,6	0,59
11/10/09	21,9	120,6	33	22,1	120,4	32,8	0,20
22/10/09	22,6	121,5	116	22,5	121,8	115,4	0,91
5/11/09	23,8	120,7	27	23,8	120,7	25,9	0,47
5/11/09	23,8	120,8	24	23,8	120,8	22,2	0,74
5/11/09	23,8	120,8	24	23,8	121,0	24,1	0,18
15/11/09	25	122,2	132	25,0	122,1	130,3	0,40
28/11/09	24,4	123,6	14	24,3	123,8	14,5	0,35
19/12/09	23,8	121,7	50	23,8	121,8	45,8	0,54
12/1/10	24,9	123,4	30	24,4	122,3	29,5	0,94
16/1/10	24	125,1	54	23,8	124,1	53,5	0,63
19/1/10	23,8	121,7	41	23,8	121,8	41,2	0,63
7/2/10	23,4	123,7	23	23,4	123,0	22,6	0,52
12/2/10	23,9	121,2	21	24,0	121,0	20,6	0,66
22/2/10	24,1	122,9	26	24,0	122,8	26,1	0,44
26/2/10	23,7	122,9	38	23,7	122,7	38,8	0,53

Tgl	Katalog IRIS			Hypo71			RMS
	Latt	Long	Depth	Latt	Long	Depth	
4/3/10	22,8	122,1	16	22,9	122,1	16,9	0,43
4/3/10	23	120,6	18	23,0	120,5	17,5	0,51
4/3/10	22,9	120,7	27	22,9	120,5	26,9	0,53
4/3/10	22,9	120,8	27	22,9	120,6	26,6	0,61
10/3/10	23,3	123,3	30	23,4	122,9	29,8	0,53
26/3/10	24,1	121,7	68	24,1	121,7	67,0	0,36
11/4/10	23,3	122,1	31	23,3	122,0	31,3	0,43
13/4/10	23,5	123,6	29	23,4	123,1	28,9	0,49
13/4/10	23,1	121,4	16	23,1	121,3	15,1	0,54
25/4/10	24,7	125	58	24,0	123,9	58,5	0,49
26/4/10	22,2	123,8	23	23,0	122,4	23,3	0,87
15/6/10	24	121,7	25	24,0	121,6	24,9	0,51
27/6/10	25	122,4	16	25,2	122,5	16,0	0,90
30/6/10	23	125,2	34	23,3	123,0	32,3	0,65
2/7/10	22,9	120,8	19	22,7	120,6	19,7	0,43
8/7/10	24,3	122,1	26	24,3	122,2	25,6	0,77
9/7/10	24,8	122,6	127	24,5	122,9	128,8	0,22
17/7/10	23,5	121,7	53	23,5	121,6	52,6	0,51
25/7/10	22,8	120,8	33	22,8	120,5	33,4	0,55
27/7/10	25	122,4	12	25,6	123,0	13,5	0,62
21/8/10	23,6	121,7	33	23,6	121,5	32,3	0,58
21/8/10	24,8	122	14	24,9	121,9	14,1	0,74
30/8/10	24,9	122,3	17	25,2	122,4	16,7	0,61
23/9/10	24,9	125,6	49	24,0	123,7	48,1	0,70
27/9/10	25	123,6	25	24,5	122,8	23,9	0,75
28/9/10	24,1	121,8	14	24,1	121,7	13,9	0,66
2/10/10	24,3	121,8	17	24,4	121,7	15,8	0,80
4/10/10	24,2	125,4	22,8	23,8	123,6	22,1	0,03
4/10/10	24,2	125,2	33	23,9	124,1	30,0	0,69
5/10/10	24,2	125,3	27,5	23,8	123,7	28,7	0,52
8/10/10	23,5	123,7	23,4	23,6	123,7	23,5	0,20
11/10/10	25,3	124,9	102,7	24,3	123,4	102,1	0,60
18/10/10	24,3	125,3	29,2	23,9	123,8	29,5	0,64
8/11/10	23,2	120,5	18,7	23,2	120,4	18,5	0,08
12/11/10	24,1	122,5	30,1	24,1	122,5	30,2	0,57
12/11/10	22,1	120,6	35,2	22,1	120,5	34,8	0,17
21/11/10	23,9	121,7	51,1	23,8	121,8	57,5	0,59
26/11/10	24,2	121,8	13,9	24,2	121,8	14,0	0,68

Hypo71PC.EXE dijalankan, maka didapatkan data keluaran dengan nama file Hypo71PC.PRT dan Hypo71PC.PUN. Data keluaran tersebut berupa data *latitude*, *longitude*, kedalaman, *origin time*, dan RMS. Hasil relokasi hiposenter gempabumi ditampilkan pada Tabel II. Output dari Hypo71 digambarkan ke dalam peta topografi menggunakan *Generic Mapping Tools* (GMT) [8].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan posisi hiposenter gempa setelah proses relokasi menggunakan Hypo71 disajikan pada Tabel II. Berdasarkan hasil relokasi menggunakan Hypo71, gempa yang terjadi dalam rentang waktu 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2010 didominasi oleh gempa dangkal yang memiliki kedalaman ≤ 60 km, yaitu 90 kejadian gempa dengan kedalaman 10-58 km, sedangkan 5 gempa lainnya termasuk dalam jenis gempabumi menengah dengan kedalaman 68-132 km.



Gambar 2: Posisi episenter sebelum (lingkaran merah) dan setelah relokasi (lingkaran biru).

Pada Tabel II dapat dilihat bahwa hasil relokasi hiposenter memiliki nilai RMS antara 0,03-0,94. Nilai RMS tersebut menunjukkan kualitas data hasil relokasi, data dikategorikan memiliki kualitas A jika $RMS < 0,15$, kualitas B jika $RMS < 0,30$, kualitas C jika $RMS < 0,50$, dan jika nilai $RMS > 0,50$ maka data tersebut memiliki kualitas D [9]. Berdasarkan Tabel II terdapat 2 data berkualitas A, 9 data berkualitas B, 24 data berkualitas C, sedangkan 60 data lainnya berkualitas D. RMS itu sendiri dalam penelitian ini merupakan error atau kesalahan residual waktu dalam satuan sekon. Sehingga ketika dikonversikan kedalam kualitas hiposenter, penelitian ini yang dapat dipercaya berada pada standar yang cukup baik hasilnya.

Adanya perbedaan hiposenter dapat dijadikan acuan dalam melakukan interpretasi zona patahan atau zona subduksi melalui tren posisi hiposenter [10]. Pada Gambar 2 tampak bahwa sebaran posisi episenter setelah dilakukan relokasi menunjukkan kondisi yang sesuai dengan kondisi geologi daerah tersebut, dimana sebagian gempa hasil relokasi berada di sepanjang Palung Ryuku dan Palung Manila, serta di daerah

patahan aktif yang berada di pulau utama Taiwan. Gempa di wilayah timur Taiwan di sepanjang Palung Ryuku disebabkan Lempeng Laut Filipina menumbuk kearah utara di bawah Lempeng Eurasia. Sedangkan di wilayah barat daya, tingkat seismisitas dipengaruhi oleh Lempeng Eurasia yang menumbuk sepanjang Palung Manila di bawah Lempeng Laut Filipina. Sedangkan gempa yang terjadi di dalam pulau utama Taiwan disebabkan adanya dua patahan aktif yaitu Patahan Lishan dan Lichi Melange yang terdapat di Longitudinal Valley. Patahan Lishan terletak diantara Hsuehshan Range dan Central Range yang termasuk dalam jenis patahan normal. Lichi Melange merupakan bagian dari subduksi kompleks di sisi barat bekas busur gunungapi dari subduksi Laut Cina Selatan.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Zhuang [2] yang menyatakan bahwa zona yang memiliki tingkat seismisitas tinggi merupakan zona dengan akumulasi stress tinggi pada batas tektonik, seperti zona patahan pada bagian timur Longitudinal Valley dan wilayah utara Palung Ryuku, yang membentang di batas Lempeng Eurasia dan menumbuk Lempeng Laut Filipina.

IV. SIMPULAN

Hasil relokasi hiposenter gempa di wilayah Taiwan menunjukkan pergeseran distribusi hiposenter lebih terpusat di sekitar zona patahan pada bagian timur *Longitudinal Valley* dan wilayah utara Palung Ryuku, yang membentang di batas Lempeng Eurasia dan menumbuk Lempeng Laut Filipina. Hal ini menunjukkan adanya koherensi antara tren posisi hiposenter gempa dengan kondisi tektonik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis pertama mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan bantuan dana melalui Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) 2013.

[1] Y.-M. Wu, *et al.*, Journal of Geophysical Research, **112**, B08312, 1-14 (2007).
 [2] J. Zhuang, *et al.*, Journal of Geophysical Research, **110**, B05S18 (2005).
 [3] T. Seno, S. Stein, and A. E. Gripp, Journal of Geophysical Research, **98**, 17941-17948 (1993).
 [4] S.B. Yu, H.Y. Chen, and L.C. Kuo, Tectonophysics, **274**, 41-59 (1997).
 [5] Y.C. Liao, *et al.*, Terr. Atmos. Ocean. Science., **19**(6), 729-741 (2008).
 [6] M. Ramdhan, dan A. D. Nugraha, Jurnal Teknologi Mineral, **19**(4), 184-189 (2012).

[7] E. Kissling, *et al.*, Journal of Geophysical Research, **99**, 19.635-19.646 (1994).
 [8] P. Wessel, and W.H.F. Smith, Eos Trans. AGU, **79**(47), 579-579 (1998).
 [9] W.H.K. Lee, and J.C. Lahr, Hypo71 (Revised): A Computer Program For Determining Hypocenter Magnitudo and First Motion Pattern of Local Earthquakes, US Departement of The Geology Survey National Center for Earthquake Center, 1972.
 [10] F. Hirose, J. Nakajima, and A. Hasegawa, Journal of Geophysical Research, **113**(B9), B09315 (2008).