

SUMBER TSUNAMI GEMPA BUMI IQUIQUE, CHILI 2014 MENGUNAKAN METODE BACK PROPAGATION TSUNAMI TRAVEL TIME (TTT)

TSUNAMI SOURCE OF THE 2014 IQUIQUE, CHILE, EARTHQUAKE USING BACK PROPAGATION TSUNAMI TRAVEL TIME (TTT)

Dwi Hartanto

Pusat Gempabumi dan Tsunami, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jl. Angkasa I, No 2 Kemayoran Jakarta Pusat 10720 Telp. (021)6546316, fax . (021)6546316
*E-mail: dwi.hartanto@bmkg.go.id

Naskah masuk: 25 Mei 2015; Naskah diperbaiki: 13 September 2016; Naskah diterima: 20 September 2016

ABSTRAK

Peringatan dini berupa estimasi waktu tiba gelombang tsunami bisa berguna untuk daerah yang terancam. Dengan mengetahui waktu tiba gelombang tsunami, negara-negara yang menerima peringatan dini tsunami dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) atau dari *Pacific Tsunami Warning Center (PTWC)* dapat mempersiapkan diri dari ancaman tsunami. Waktu tiba gelombang tsunami yang tercatat oleh *Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART)* dan tide gauge dapat digunakan untuk mengetahui luasan area gempa bumi, menggunakan metode Waktu Penjalaran Gelombang Tsunami Balik (*Back Propagation Tsunami Travel Time (TTT)*). Di dalam penelitian ini menggunakan 3 data DART dari *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dan 4 data tide gauge dari *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)* untuk gempa bumi Iquique, Chili 2014. Sumber tsunami menggunakan metode penjalaran gelombang tsunami balik untuk gempa bumi Iquique 2014 menghasilkan luas area dengan panjang sekitar 150 km, dan lebar 60 km. Luas area ini dapat menghasilkan gempa bumi dengan magnitude 8.0.

Kata kunci: Peringatan dini tsunami, penjalaran gelombang tsunami balik, gempa bumi

ABSTRACT

Tsunami arrival time is very useful for tsunami early warning in certain areas. Countries that received tsunami early warning from Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) or from Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) in form of tsunami arrival time can be prepared for the incoming tsunami. Tsunami wave arrival time recorded by a deep-ocean assessment and reporting of tsunami (DART) and tide gauges could be used to determine the extent of the earthquake area using the method of Back Propagation Tsunami Travel Time (TTT). In this study used 3 DART Data from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and 4 Data tide gauge of the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) for the earthquake Iquique, Chile, 2014. Tsunami source area by back propagation method of The 2014 Iquique, Chile, Earthquake is approximately 150 km long and 60 km width, this source area can produce earthquake with magnitude 8.0.

Keywords: Tsunami early warning, back propagation tsunami travel time, earthquake

1. Pendahuluan

Gempa bumi Iquique, Chili terjadi pada 1 April 2014 dengan magnitude 8.0 Mwp [1], atau magnitude 8.2 Mw berdasarkan data *U.S. Geological Survey (USGS)*. Gempa ini terjadi karena hasil pergeseran sesar naik di dekat perairan Chili [2]. Gempa bumi Iquique ini menimbulkan tsunami yang terdeteksi di beberapa *Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART)* dan stasiun *tide gauge* di sepanjang pantai Chili [3].

Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) mengeluarkan peringatan dini tsunami untuk negara-

negara disekitar pasifik. Peringatan dini tsunami oleh PTWC ini meliputi daerah yang terkena tsunami dan waktu tiba gelombang tsunami. Waktu tiba gelombang tsunami (*Tsunami Travel Time (TTT)*) sangat berguna untuk mengetahui kapan tsunami sampai di suatu negara, sehingga negara yang bersangkutan dapat mempersiapkan diri dari ancaman tsunami (gambar 1.)

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan luas area sumber gempa Iquique berdasarkan waktu tiba perambatan gelombang tsunami yang tercatat di DART dan tide gauge di sekitar wilayah Chili. *Gusman et al,*

2015 [4] telah menggunakan metode ini untuk menentukan sumber tsunami gempa Iquique disamping penggunaan *joint inversion* data *Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis (DART)*, tide gauge, dan *Global Positioning System (GPS)*. Pada bab pembahasan akan dibahas perbedaan hasil penelitian ini dengan hasil yang diperoleh *Gusman et al*, 2015 [4].

2. Metode Penelitian

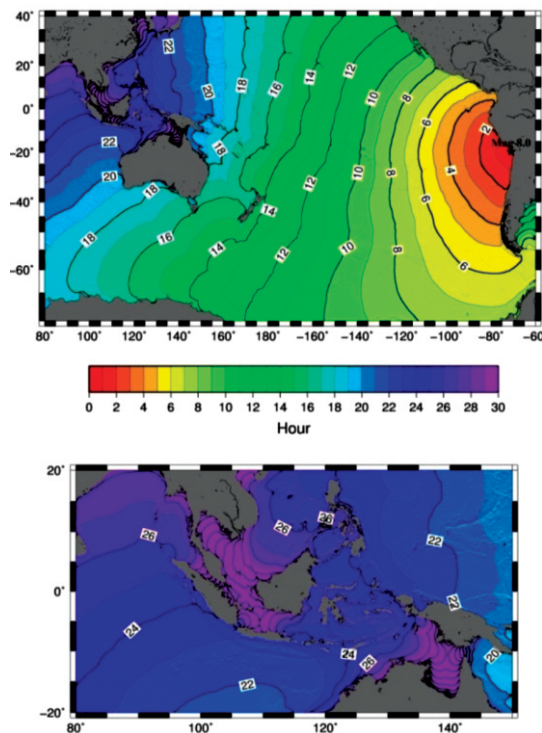
Data waktu tiba gelombang tsunami yang tercatat di DART dan tide gauge telah diaplikasikan untuk menentukan luas area sumber tsunami 2011 gempa bumi Tohoku, Jepang [5]. Kecepatan gelombang tsunami di dalam penelitian ini menggunakan pendekatan gelombang panjang (*linear long-wave approximation*), dimana kecepatan gelombang tsunami adalah [6];

$$v(x, y) = \sqrt{g(y) \cdot d(x, y)} \quad (1)$$

dimana g adalah percepatan gravitasi bumi (fungsi dari latitude), d adalah kedalaman air laut (arah ke bawah adalah positif). Dengan menggunakan prinsip *Huygens* waktu tiba penjaralan gelombang tsunami diperoleh sebagai berikut [3];

$$\Delta t(r) = \int_0^r \frac{dx}{v(x)} = \int_0^r s(x) dx \quad (2)$$

dimana r adalah jarak antara *nodes* di dalam data *bathymetry*, $s(x) = v^{-1}(x)$ adalah *slowness* sepanjang lintasan.



Gambar 1. Penjaralan *TTT* gempa bumi Iquique, dimana tsunami mencapai Indonesia bagian timur sekitar 22 jam dari *Origin Time (OT)*.

Penelitian ini menggunakan 4 data tide gauge dan 3 data DART (tabel 1). Data DART tsunami gempa bumi Iquique diperoleh dari *National Data Buoy Center* (<http://www.ndbc.noaa.gov/>), dan data tide gauge diperoleh dari *Intergovernmental Oceanographic Commission* (<http://www.ioos-sealevelmonitoring.org/>). *Bathymetry* yang digunakan adalah *General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) 1 minute*, yang di peroleh dari website GEBCO (<http://www.gebco.net/>).

Gambar di dalam penelitian ini menggunakan *Generic Mapping Tools Software* [7]

3. Hasil dan Pembahasan

Sinyal tsunami yang tercatat di DART dan tide gauge, dikoreksi menggunakan fungsi polinomial (*fitting polynomial function*) sehingga diperoleh sinyal tsunami yang sudah terkoreksi dari pasang surut air laut. Kemudian waktu tiba gelombang tsunami ditentukan pada saat gelombang pertama datang (*initial rise*) naik atau turun (gambar 2 dan tabel 1). Data waktu tiba gelombang tsunami inilah yang digunakan untuk menentukan sumber area gempa bumi Iquique.

Dari hasil perambatan balik gelombang tsunami (gambar 3a), sumber tsunami gempa bumi Iquique mempunyai panjang sekitar 150 km, dan lebar sekitar 60 km. Dengan menggunakan *moment magnitude* 8.0, ukuran area gempa (150 km × 60 km), *shear modulus* $4.41 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ berdasarkan *Preliminary Reference Earth Model (PREM)* [8], gempa ini menghasilkan *slip* rata-rata 3 m.

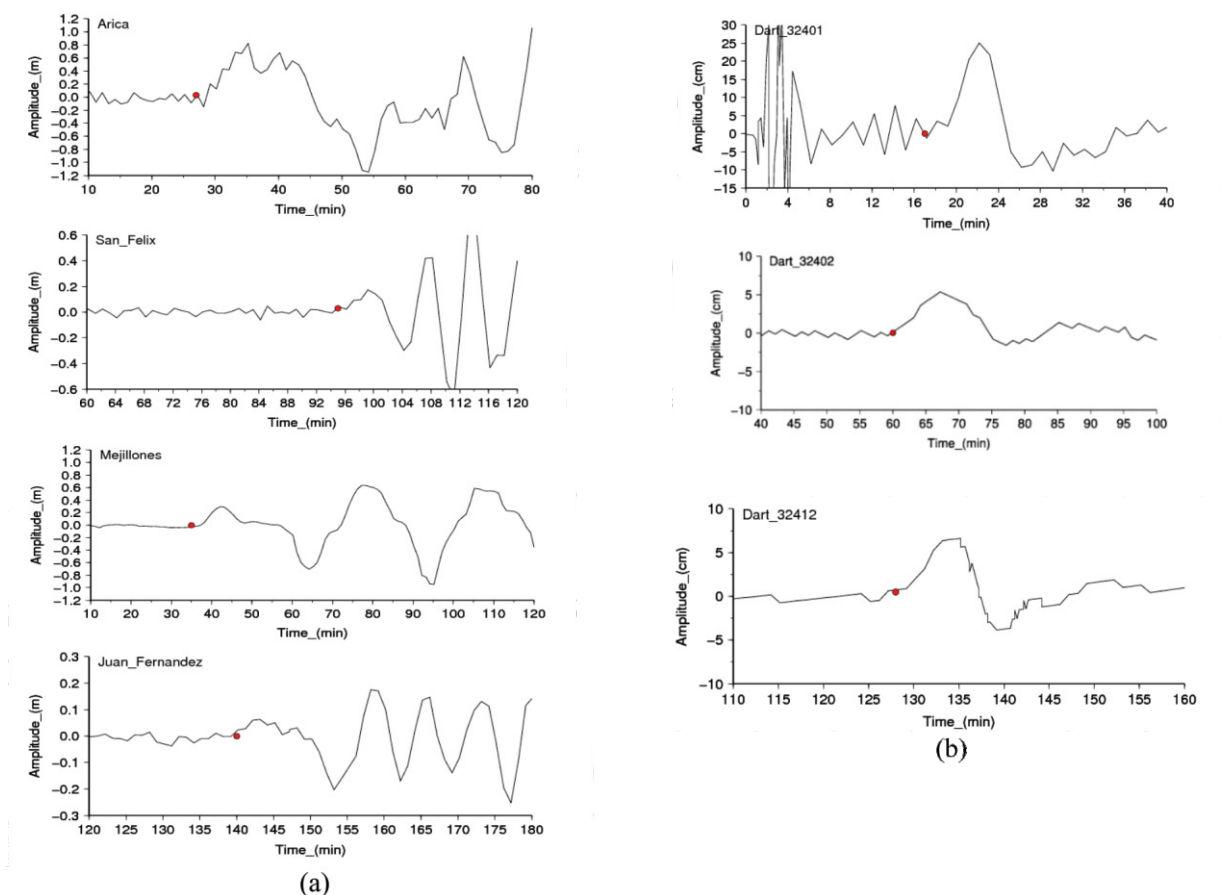
Sumber tsunami hasil penelitian ini berbeda dengan yang diperoleh *Gusman et al*, 2015 [4] (gambar 3b). Sumber tsunami hasil penelitian ini lebih jelas terlihat dibandingkan dengan hasil yang diperoleh *Gusman et al*, 2015 [4]. Kurva tsunami yang ditampilkan *Gusman et al*, 2015 [4] menggunakan waktu tiba *peak amplitude* (gambar 3c). Area ungu (gambar 3b) menunjukkan lokasi dari *peak amplitude*. Sedangkan dalam penelitian ini digunakan waktu tiba *initial rise*. Area yang didapat dari *TTT* dengan waktu tiba dari *initial rise* bisa digunakan untuk mengestimasi *rupture area*.

Penelitian ini tidak menggunakan data tide gauge terdekat dari lokasi gempa (Pisagua dan Iquique). Kedua tide gauge tersebut terletak di *subsidence* gempa utama Iquique (gambar 4a). Gambar 4b menunjukkan pada saat gempa terjadi (*time = 0*), tide gauge Iquique dan Pisagua menunjukkan penurunan permukaan air laut yang di sebabkan *subsidence* gempa utama Iquique. Data GPS juga memperlihatkan adanya deformasi yang menurun di sekitar tide gauge Iquique dan Pisagua [4,9].

Tide gauge yang terletak di *uplift* atau *subsidence* gempa tidak bisa digunakan untuk mengetahui waktu pertama gelombang tsunami datang. Penentuan waktu tiba gelombang tsunami yang tepat juga sangat mempengaruhi hasil dari luas area gempa.

Hasil metode inversi [3,4,10] dapat memberikan keyakinan yang lebih tinggi dibandingkan metode

back propagation TTT ataupun *forward modelling* [11] dalam hal penentuan luas area gempa, tetapi metode *back propagation TTT* lebih sederhana, cepat, dan cukup akurat untuk menentukan area dari sumber tsunami gempa Iquique.



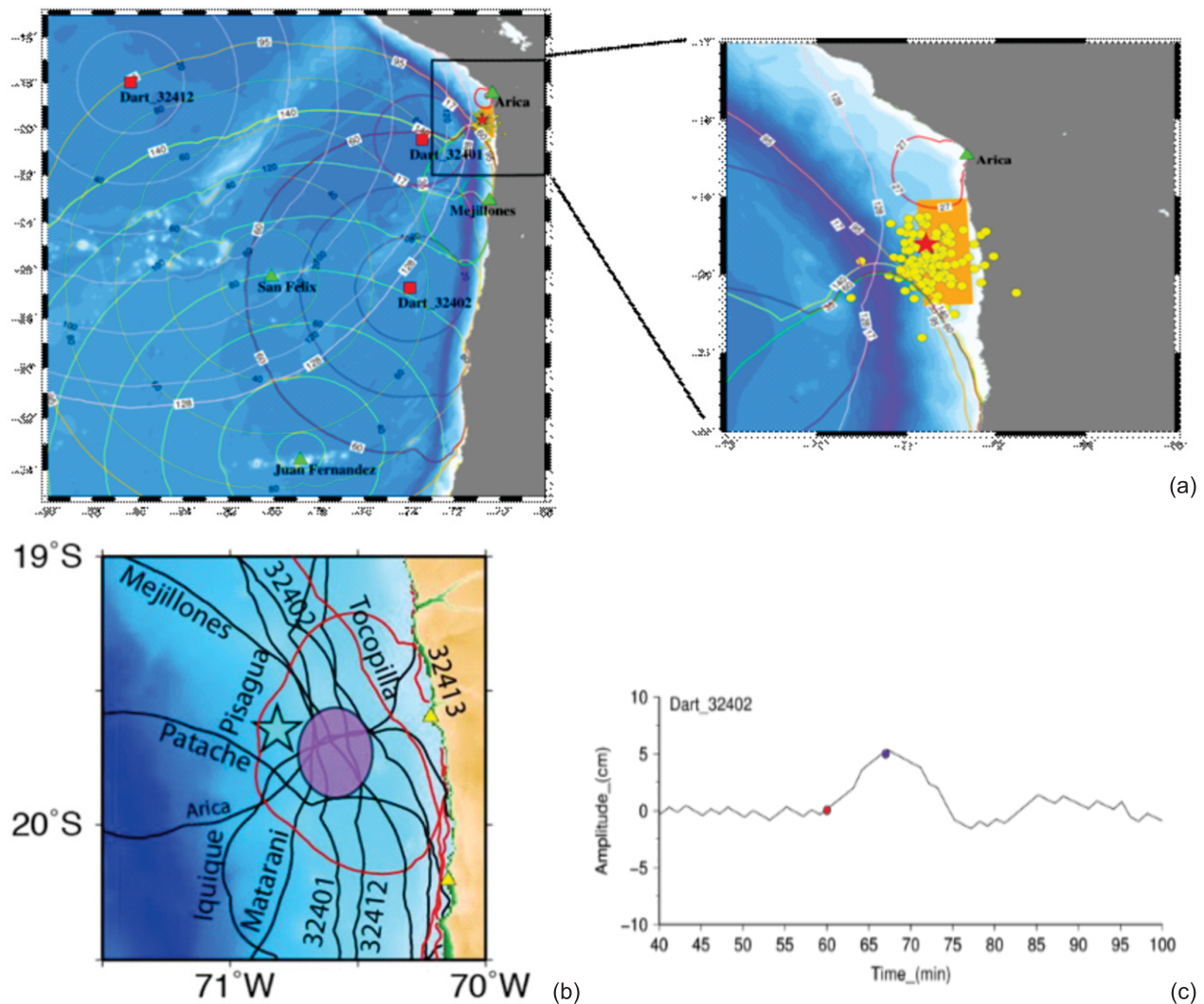
Gambar 2. (a) Waktu tiba gelombang tsunami (*initial rise*) (titik merah) yang tercatat di tide gauge, dan (b) waktu tiba gelombang tsunami yang tercatat di DART.

Tabel 1. Waktu tiba gelombang tsunami yang tercatat di DART dan tide gauge

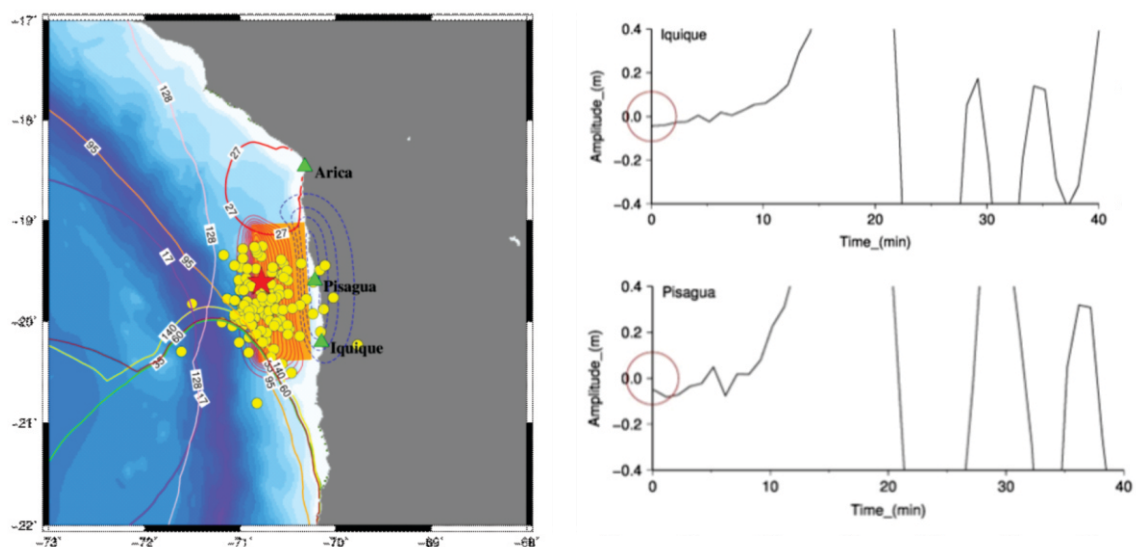
Stasiun	Latitude (°)	Longitude (°)	Waktu tiba gelombang tsunami dari OT (menit)
Arica*	-18.476	-70.323	27
San Felix*	-26.292	-80.108	95
Mejillones*	-23.097	-70.451	35
Juan Fernandez*	-33.617	-78.825	140
Dart 32401 [^]	-20.473	-73.429	17
Dart 32402 [^]	-26.743	-73.983	60
Dart 32412 [^]	-17.982	-86.341	128

* Tide gauge

[^] DART



Gambar 3. (a) Sumber tsunami gempa bumi Iquique (empat persegi panjang jingga) hasil *back propagation TTT* dari DART (kotak merah) dan tide gauge (segitiga hijau), di dalam gambar juga terdapat episenter gempa (bintang merah) dan gempa susulan (lingkaran kuning) (data USGS 1-2 April 2014). (b) Sumber tsunami hasil *Gusman et al*, 2015 [4]. (c) *Initial rise* (titik merah) dan *initial peak amplitude* (titik ungu) tsunami yang terekam di DART 32402.



Gambar 4. (a) Kontur merah (*uplift*) dan kontur biru (*subsidence*) dengan interval 0.1 m, adalah *sea floor deformation* sumber gempa bumi Iquique menggunakan formula Okada [12]. (b) Lingkaran merah menunjukkan penurunan permukaan air laut di tide gauge Pisagua dan Iquique, yang disebabkan *subsidence* gempa bumi Iquique.

4. Kesimpulan

Waktu tiba gelombang tsunami yang tercatat di DART dan tide gauge dapat digunakan untuk menentukan luas area gempa bumi. Dengan menggunakan metode *back propagation TTT* luas area gempabumi dapat ditentukan, kemudian slip rata rata gempa tersebut dapat diketahui. Berdasarkan penelitian menggunakan metode *back propagation TTT*, sumber gempa bumi Iquique mempunyai luas area dengan panjang sekitar 150 km dan lebar 60 km. Dengan menggunakan *moment magnitude* 8.0, luas area 150 km × 60 km ini menghasilkan *slip* rata-rata 3 m. Metode *back propagation TTT* lebih sederhana, cepat, dan cukup akurat untuk menentukan area sumber gempa. Penentuan waktu tiba gelombang tsunami yang tepat dapat mempengaruhi hasil luas area gempa bumi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Aditya R. Gusman atas koreksinya yang membangun. Iddam Hairuly S.Si dan Elvien Hastatomo Khasby, ST atas diskusinya. Riza Y. Setiawan M.Sc atas bantuan referensinya..

Daftar Pustaka

- [1] <http://rtsp.bmkg.go.id/publicdetail.php?eventid=20140402002200>
- [2] <http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000nzvd#summary>
- [3] C. An, I. Sepulveda, and P.L.-F. Liu, "Tsunami source and its validation of the 2014 Iquique, Chile, earthquake." *Geophysical Research Letters*, vol. 41(11). pp 3988-3994, 2014.
- [4] A.R. Gusman, S. Murotani, K. Satake, M. Heidarzadeh, E. Gunawan, S. Watada, and B. Schurr, "Fault slip distribution of the 2014 Iquique, Chile earthquake estimated from ocean-wide tsunami waveforms and GPS data," *Geophysical Research Letters*, vol. 42(4), pp 1053-1060, 2015.
- [5] Y. Hayashi, H. Tsushima, K. Hirata, K. Kimura, and K. Maeda, "Tsunami source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake determined from tsunami arrival times at offshore observation stations," *Earth Planets Space*, vol. 63, pp. 809–813, 2011.
- [6] Geoware. Technical Reference Documentation for TTT version 3.2. Software Development Kit for the prediction of tsunami travel times, 2009.
- [7] P. Wessel, and W.H.F. Smith, The generic mapping tools GMT version 4.5.8 technical reference and cookbook, 2012.
- [8] A.M. Dziewonski, and D.L. Anderson, "Preliminary reference Earth model." *Phys. Earth Planet. Inter.*, vol. 25, pp 297–356, 1981.
- [9] B. Schurr, G. Asch, S. Hainzl., J. Bedford, A. Hoechner, M. Palo, R. Wang, M. Moreno, M. Bartsch, Y. Zhang, O. Oncken, F. Tilmann, T. Dahm, P. Victor, S. Barrientos, and J-P. Vilotte, "Gradual unlocking of plate boundary controlled initiation of the 2014 Iquique earthquake," *Nature*, vol. 512, pp. 299-302, 2014.
- [10] T. Lay, H. Yue, E.E. Brodsky, and C. An," The 1 April 2014 Iquique, Chile, Mw 8.1 earthquake rupture sequence," *Geophysical Research Letters*, vol. 41(11). pp 3818-3825, 2014.
- [11] Y. Fujii. "Chile Tsunami on Apr. 1, 2014" Internet: <http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/Chile2014/tsunami.html>, diakses 1 Maret 2015.
- [12] Y. Okada, "Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 75, pp. 1135–1154, 1985.