

Analisis Mekanisme Fokal Menggunakan Inversi Waveform; Studi Kasus Gempa Bumi Pidie Jaya 7 Desember 2016

Analysis of Focal Mechanisms Using Waveform Inversion; Case Study of Pidie Jaya Earthquake December 7, 2016

Qadariyah*, Andrean V H Simanjuntak dan Muksin Umar

Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknik Kebumihan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Received July, 2018, Accepted September, 2018

Salah satu gempa bumi yang berdampak pada kerusakan rumah penduduk telah terjadi di Sumatra tepatnya adalah daerah Pidie Jaya pada tanggal 7 Desember 2016, sebesar Mw 6.5. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa pada mekanisme fokal gempa bumi menggunakan inversi *waveform* dari seismogram digital tiga komponen. Mekanisme fokal gempa bumi dimodelkan dari proses inversi tensor momen menggunakan program ISOLA. Hasil inversi tensor momen menunjukkan bahwa gempa bumi Pidie Jaya merupakan gempa bumi dengan mekanisme sesar geser dengan bidang nodal 1; *strike* 254°, *dip* 80°, *slip* 48° dan bidang nodal 2; *strike* 153°, *dip* 42°, *slip* 165°.

One of destructive earthquake that occurred in Sumatra region is Pidie Jaya earthquake, on the 7th of December, 2016 with Mw 6.5. The aim of this study is to analyze the focal mechanism using waveform inversion three component digital seismogram. Earthquake focal mechanism is determined by moment tensor inversion method using ISOLA program. Moment tensor inversion results show that the solution of the focal mechanism of the Pidie Jaya earthquake is a strike-slip fault with nodal plane 1; strike 254°, dip 80°, slip 48° and nodal plane 2; strike 153°, dip 42°, slip 165°.

Keywords: *waveform inversion, earthquake, focal mechanism, strike-slip, Pidie Jaya*

Pendahuluan

Pulau Sumatra yang secara geografis terletak di ujung barat dari Indonesia merupakan salah satu daerah dengan aktivitas kegempaan yang sangat besar. Sesar aktif *Sumatra Fault* membujur sepanjang Bukit Barisan dan membentang dari Aceh, Sumatra Utara, Sumatra Barat sampai ke Teluk Semangka Lampung, sehingga wilayah Aceh memiliki tingkat seismisitas tinggi yang terancam oleh bencana alam gempa bumi. Gempa bumi terjadi di Kabupaten Pidie Jaya, Provinsi Aceh pada hari Rabu, 7 Desember 2016, pukul 05:03:36 WIB dengan magnitudo 6.5 Mw dan kedalaman 15 km. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) merilis bahwa gempa tersebut terjadi pada koordinat 5.250 LU dan 96.240 BT. Berdasarkan hasil analisis peta tingkat guncangan menunjukkan bahwa dampak gempa bumi berupa guncangan kuat yang terjadi di daerah Busungan, Meukobrawang, Pangwabaroh,

Maukorumpuet, Panteraja, Angkieng, dan Pohroh (BMKG, 2016).

Berdasarkan informasi awal mekanisme gempa, arah *strike* dari gempa diperkirakan mengarah ke Barat Laut. Patahan di wilayah Pidie dan Pidie Jaya belum sepenuhnya diketahui sehingga masih memerlukan kajian yang lebih mendalam dengan menggunakan berbagai metode (Muksin *et al.*, 2016). Hal menarik untuk dipelajari yaitu menganalisa karakteristik penyebab terjadinya gempa bumi dengan menentukan solusi mekanisme fokalnya. Berbagai metode yang dapat dilakukan untuk memperoleh mekanisme fokal gempa bumi yaitu HASH, FPFIT, dan FOCMEC yang berbasis *first polarity pick*, yang mana cocok dengan rekaman *seismograph* bertipe *long-period*. Metode yang cukup baik untuk digunakan adalah metode yang melibatkan inversi *waveform* dengan melakukan perhitungan momen tensor salah satunya adalah ISOLA (Sokos & Zahradnik, 2008).

Parameter yang dirilis oleh BMKG dan USGS memberikan informasi bahwa gempa ini berada di darat dan dibangkitkan oleh aktivitas sesar mendatar (*strike-slip fault*) yang belum diketahui jenis dan namanya. Untuk itu, orientasi bidang sesar dan jenis patahan pada gempa bumi Pidie Jaya memerlukan analisa yang berkelanjutan dan lebih baik. Dalam penelitian ini, penulis ingin mengetahui bagaimana cara menentukan solusi mekanisme fokal yang tepat dengan menggunakan inversi *waveform* gempa bumi Pidie Jaya 7 Desember 2016 serta membandingkan dengan parameter dari instansi lain.

Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *waveform* seismogram digital tiga komponen yang diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) dan IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*). Keseluruhan data yang dipilih adalah data *waveform* gempa bumi Pidie Jaya 7 Desember 2016 dengan magnitudo 6.5 Mw. Data yang dipilih berasal dari berbagai stasiun baik yang lokal maupun regional. Pada penelitian ini digunakan 8 stasiun perekam gempa yang bertipe *broadband* (0.000 – 50.000 Hz).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode inversi tensor momen dengan prinsip iterasi dekonvolusi dan diimplementasikan dalam program ISOLA (*Isolated Asperities*) (Sokos & Zahradnik, 2008). Program ini dijalankan dengan bantuan perangkat lunak Matlab dengan paket ISOLA-GUI. Data sinyal observasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dalam format SAC (*Seismic Analysis Code*) (Goldstein & Snoke, 2005). Data sinyal observasi yang diterima pada stasiun pencatat gempa bumi merupakan konvolusi dari sinyal seismik sumber gempa bumi, medium penjalaran dan respon instrumen (Stein & Wysession, 2003).

Data polezero digunakan untuk menghilangkan respon instrumen, agar sinyal yang diterima merupakan sinyal sebenarnya dari sumber gempa bumi. Perhitungan *green fuction* dalam program ISOLA dihitung berdasarkan metode *discrete wavenumber* (Bouchon, 1981). Perhitungan fungsi *green* digunakan untuk membuat sinyal sintetik berdasarkan model bumi yang dijadikan masukan. Inversi tensor momen dilakukan dengan

membandingkan data displacement antara sinyal observasi dan sinyal sintetik.

Hasil yang didapatkan akan semakin akurat apabila sinyal observasi dan sinyal sintetik saling tumpang tindih (Sokos & Zahradnik, 2008). Pentingnya kecocokan sinyal sintetik dan sinyal observasi ini membuat perlunya dilakukan metode *try and error* untuk mendapatkan kondisi inversi yang paling ideal dan paling optimal. Hasil *plotting* diperoleh berdasarkan analisis data *waveform* 3 komponen dan *beach ball* untuk mekanisme fokal gempa diplot menggunakan GMT (*Generic Mapping Tools*) (Wessel & Smith, 1998).

Hasil dan Pembahasan

Green function Computation mendefinisikan parameter untuk perhitungan *Green Fuction* dan seismogram dasar. Parameternya meliputi frekuensi maksimum *fmax* sampai dengan *Green Fuction* yang dihitung. Frekuensi *fmax* harus lebih besar dari frekuensi yang kemudian kita gunakan dalam bentuk gelombang inversi (Sokos & Zahradnik, 2016). Parameter-parameter sumber gempa bumi hasil *Green function* diestimasi dengan menggunakan model inversi untuk mencapai *fitting waveform* 3 komponen dengan baik. Proses inversi yang baik didasarkan hasil pencocokan data observasi dan data sintetik dengan teknik *overlay* (Ndeo, 2012).

Inversi *waveform* dilakukan untuk menghasilkan sinyal sintetik lokal pada rekaman *waveform* 3 komponen dan dikondisikan pada filter *butterworth* bertipe antara 0.015 – 0.050 Hz. Menurut Bormann *et al* (2002) pemilihan filter dengan frekuensi rendah cocok dengan karakteristik gelombang gempa bumi dan bertujuan untuk memudahkan pencocokan terbaik (*best fitting*) antara seismogram sintetik dengan hasil observasi.

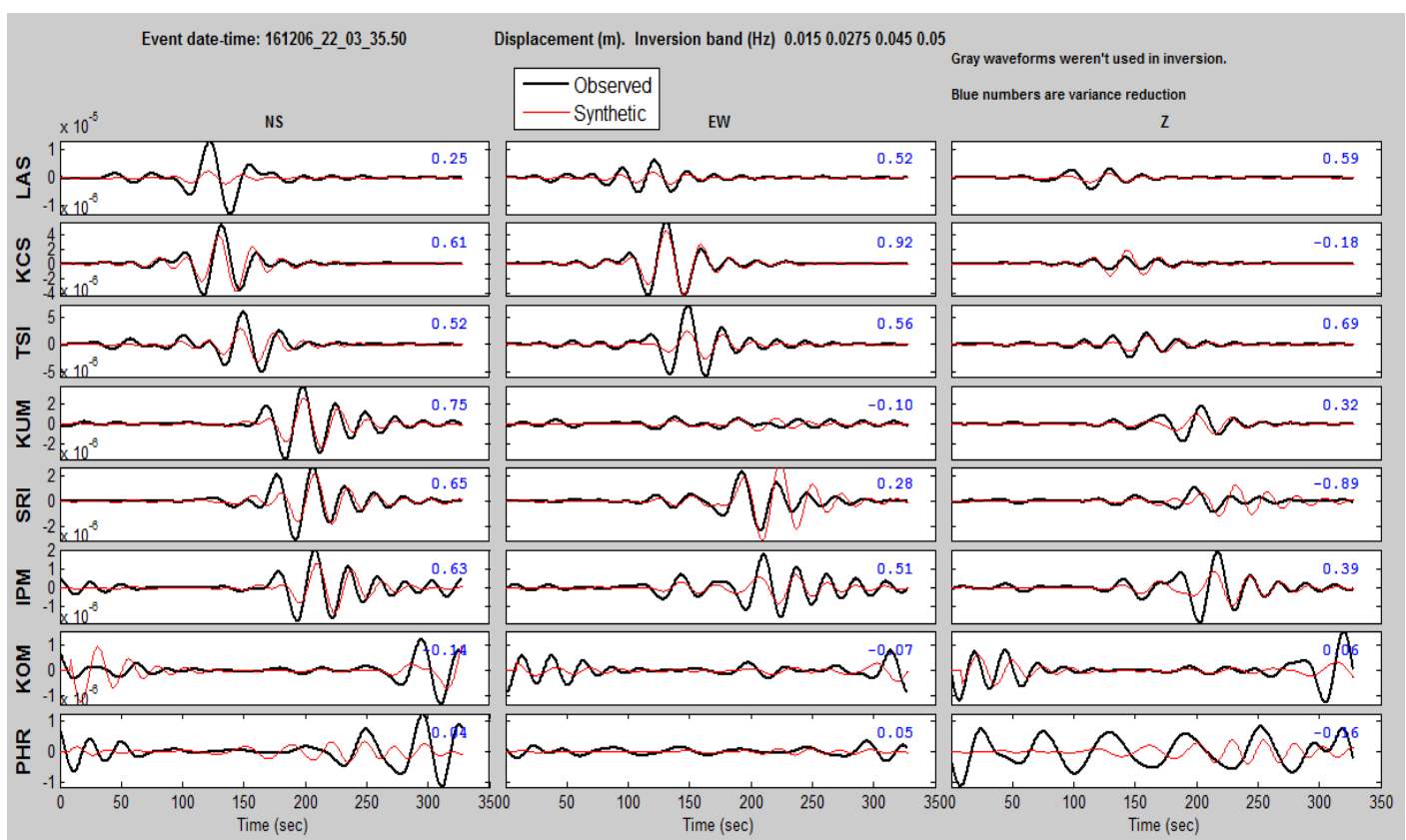
Dari hasil inversi, didapatkan parameter gempa bumi yaitu *strike*, *dip*, dan *slip* (Gambar 1) dan model *waveform* yang diperoleh antara seismogram sintetik dan observasi di 8 stasiun dari masing-masing *event* (Gambar 2). Perhitungan *Green Fuction* dan inversi *waveform* menggunakan program ISOLA-GUI didapatkan hasil *fitting* kurva *displacement* dari data seismogram hasil observasi lapangan dengan data hasil estimasi dapat dilihat pada Gambar 2. Besar kecocokan kurva ditentukan oleh varian reduksi (Sokos & Zahradnik, 2009).

```

Trial source positions and shifts for subevent #          1
(position #, shift (multiples of dt), correl., DC%)
(strike1, dip1, rake 1   and strike2, dip2, rake2)
 1  215   .5518   6.51   254   80   48   153   42   165
 2  215   .5493   7.19   154   50   173   248   84   40
 3  205   .5459  10.50   150   38   157   258   76   53
 4  205   .5425  10.47   151   42   162   255   77   48
 5  205   .5392  10.76   252   79   44   152   46   165
 6  205   .5360  11.27   250   81   40   153   50   168
 7  205   .5329  11.94   248   82   37   153   53   171
 8  205   .5300  12.74   153   55   173   247   84   34
 9  205   .5272  13.66   153   58   174   245   85   31
10  215   .5248  14.57   152   66  -177   61   87  -23
automatic search suggests trial source #          1
do you agree with this automatic search ?
please answer y or n (lowercase !):
y
Results for subevent #          1
trial source position #          1
time shift (multiple of dt)      215
strike,dip,rake      254         80         48
strike,dip,rake      153         42        165

```

Gambar 1. Hasil parameter gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016



Gambar 2. Hasil overlay antara seismogram observasi dan sintetik

Ketidakcocokan kurva dipengaruhi oleh sifat elastik dan tidak elastik dari medium yang dilewati oleh gelombang sumber gempa (Stein & Wyssession,

2003). Berdasarkan kurva pada Gambar 2. terlihat ada dua garis warna, yaitu warna merah dan hitam. Garis yang berwarna merah merupakan kurva

estimasi dari *Green Fuction*, sedangkan kurva yang berwarna hitam merupakan kurva dari data observasi seismogram. Apabila nilai variasi reduksi mendekati angka 1 menunjukkan bahwa kurva hasil *fitting* semakin cocok (Rachmawati & Santosa, 2014). Nilai satu menunjukkan bahwa kurva hasil *fitting* berimpit penuh sedangkan nilai varian reduksinya nol maka ketidakcocokannya sangat besar, dapat dikatakan bahwa perbedaan kurvanya sangat jauh berbeda (Wifayanti & Santosa, 2014).

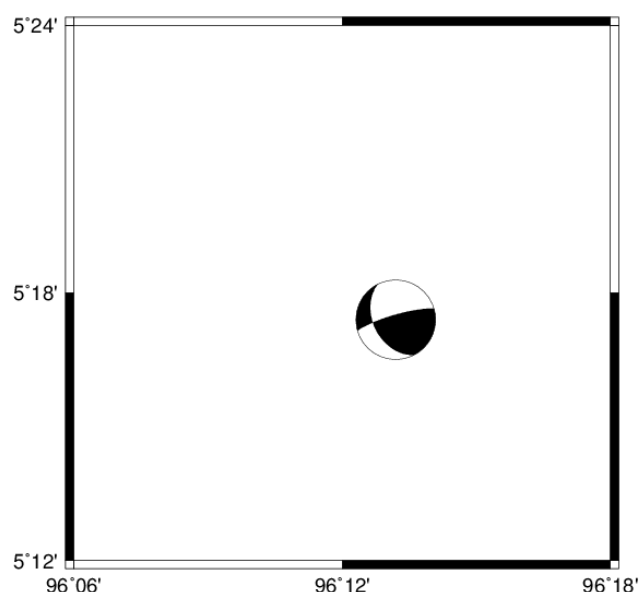
Berdasarkan Gambar 2. terdapat 8 stasiun yang diperoleh dari hasil inversi *waveform* 3 komponen. Ada 3 stasiun dari Indonesia yaitu LASI, KCSI dan TSI. Besarnya tingkat kecocokan antara seismogram sintetik dan observasi stasiun LASI pada komponen NS, EW dan Z masing-masing yaitu 0.25, 0.52 dan 0.29. KCSI memiliki tingkat kecocokan seismogram sintetik dan observasi pada masing-masing komponen NS, EW dan Z sebesar 0.61, 0.92 dan -0.18. Tingkat kecocokan antara seismogram sintetik dan observasi stasiun TSI pada komponen NS, EW dan Z masing-masing yaitu 0.52, 0.56 dan 0.69.

Stasiun dari Malaysia yang digunakan ada 3 yaitu KUM, IPM dan KOM. Besarnya tingkat kecocokan antara seismogram sintetik dan observasi stasiun KUM pada komponen NS, EW dan Z masing-masing yaitu 0.75, -0.10 dan 0.32. IPM memiliki tingkat kecocokan seismogram sintetik dan observasi pada masing-masing komponen NS, EW dan Z sebesar 0.63, 0.51 dan 0.39. Tingkat kecocokan antara seismogram sintetik dan observasi stasiun KOM pada komponen NS, EW dan Z masing-masing yaitu -0.14, -0.07 dan 0.06. Stasiun dari Thailand yang digunakan ada 2 yaitu SRIT dan PHRA. Besarnya tingkat kecocokan antara seismogram sintetik dan observasi stasiun SRIT pada komponen NS, EW dan Z masing-masing yaitu 0.65, 0.28 dan -0.89. PHRA memiliki tingkat kecocokan seismogram sintetik dan observasi pada masing-masing komponen NS, EW dan Z sebesar 0.04, 0.05 dan -0.16.

Gempa bumi disebabkan adanya gerakan suatu sesar dengan karakter gerak tertentu. Model gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempa bumi dapat diketahui berdasarkan momen tensor gempa bumi. Momen tensor ini digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi (Ndeo, 2012). Pergerakan sesar merupakan salah satu parameter sumber penyebab terjadinya deformasi vertikal pada daerah sumber dan mengakibatkan gempa bumi tektonik. Parameter sesar dikenal juga dengan

mekanisme fokal. Mekanisme fokal adalah arah dan orientasi sesar pada gempa bumi tektonik. Mekanisme fokal terbagi menjadi empat jenis yaitu *strike slip*, *normal*, *reverse* dan *oblique reverse* (Shearer, 2009). Secara umum sudut pembentuk parameter sesar yaitu sudut *strike*, *dip* dan *slip*.

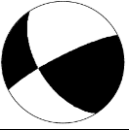
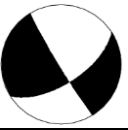
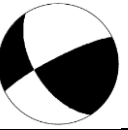
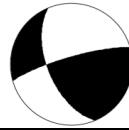
Pada saat gempa terjadi, ada dua bidang yang menjadi acuan dalam penentuan momen tensor yaitu *auxiliary plane* serta bidang patahan (*fault plane*) yang saling tegak lurus (Stein & Wysession, 2003). Berdasarkan hasil parameter *strike*, *dip* dan *slip* (Gambar 1) menunjukkan karakteristik bidang pertama besar nilai *strike* = 254, *dip* = 80 dan *slip* = 48 dan bidang kedua besar nilai *strike* = 153, *dip* = 42 dan *slip* = 165. Kemudian dilakukan *plotting* menggunakan GMT (*Generic Mapping Tool*) sehingga diperoleh pola bidang sesar yang terbentuk adalah *strike-slip fault* (Gambar 3).

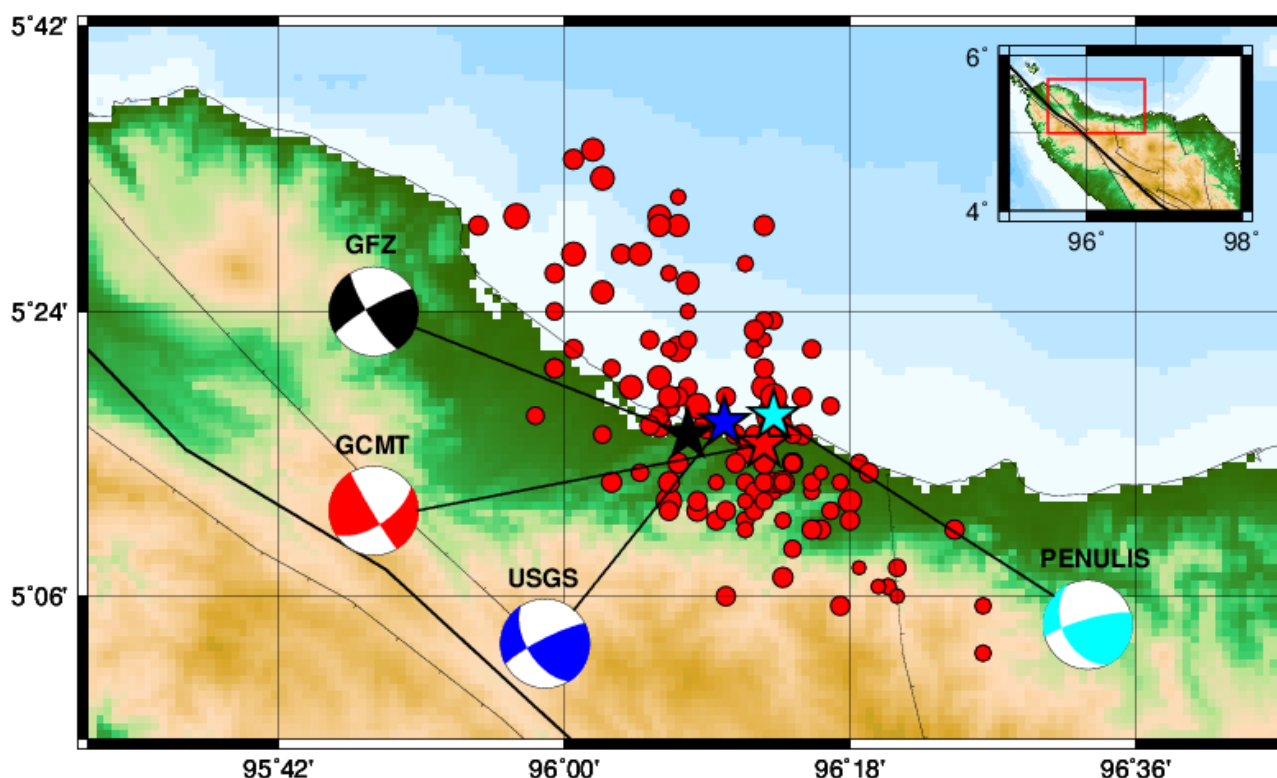


Gambar 3. *Plotting beach ball* gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016

Berdasarkan nilai *strike*, *dip*, dan *slip* dari masing-masing bidang nodal pada *beach ball* mekanisme fokal gempa bumi yang dihasilkan oleh ISOLA dapat dibandingkan dengan mekanisme fokal yang dihasilkan oleh GFZ, GCMT dan USGS (Tabel 1). Dari hasil pengolahan data menggunakan program ISOLA-GUI dan hasil penggambaran *beachball* dengan GMT terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengolahan menggunakan ISOLA dengan hasil pengolahan dari GFZ dan USGS.

Tabel 1. Perbandingan Mekanisme Fokal gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016

GFZ	GCMT	USGS	Penulis
(Strike, dip, slip)	(Strike, dip, slip)	(Strike, dip, rake)	(Strike, dip, rake)
			
(NP1= 148°, 79°, 170°) (NP2= 240°, 80°, 11°)	(NP1= 57°, 63°, -4°) (NP2= 148°, 87°, -153°)	(NP1= 243°, 81°, 33°) (NP2= 147°, 57°, 170°)	(NP1= 254°, 80°, 48°) (NP2= 153°, 42°, 165°)



Gambar 4. Peta perbandingan mekanisme fokal dan gempa utama

Hasil yang didapatkan dari pengolahan data ini dapat dikatakan cukup akurat. Terdapat perbedaan informasi parameter latitude, longitude, kedalaman dan *magnitude* yang diperoleh dari data GFZ, GCMT, USGS dan BMKG. Perbedaan ini dapat menyebabkan lokasi dari gempa utama juga berbeda (Gambar 4). Bintang berwarna hitam menunjukkan lokasi gempa utama dari data GFZ, bintang berwarna merah menunjukkan lokasi gempa utama dari data GCMT, bintang berwarna biru tua menunjukkan lokasi gempa utama dari data USGS dan bintang berwarna biru muda menunjukkan lokasi gempa utama yang dihasilkan penulis dari data BMKG. Titik-titik berwarna merah menunjukkan sebaran

gempa susulan yang terjadi pada 7 Desember 2016 di Kabupaten Pidie Jaya.

Kesimpulan

Hasil *plotting* dengan menggunakan GMT terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengolahan yang didapat oleh penulis dengan hasil pengolahan dari GFZ, USGS dan GCMT. Pola bidang sesar yang terbentuk pada Gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 adalah *strike-slip fault* dengan karakteristik bidang pertama besar *strike* = 254°, *dip* = 80° dan *slip* = 48° dan bidang kedua besar *strike* = 153°, *dip* = 42° dan *slip* = 165° dan besarnya tingkat kecocokan antara seismogram

sintetik dan observasi dapat dilihat dari hasil *fitting* yang mendekati angka 1.

Daftar Pustaka

- BMKG. 2016. *Gempa bumi Kuat M=6.5 Guncang Pidie Jaya, Provinsi Aceh Dipicu Akibat Aktivitas Sesar Aktif*.
<http://www.bmkg.go.id/press-release/?p=gempabumi-kuat-m6-5-guncang-pidie-jaya-provinsi-aceh-dipicu-akibat-aktivitas-sesar-aktif&tag=press-release&lang=ID>. Tanggal akses 22 Oktober 2017.
- Bormann, P., Baumbach, M., Bock, G., Grosser, H., Choy, G. L., & Boatwright, J. 2002. Seismic sources and source parameters. *IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice*, 1, 1–94.
- Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(4), 959–971.
- Goldstein, P., & Snoke, A. (2005). SAC availability for the IRIS community. *Incorporated Institutions for Seismology Data Management Center Electronic Newsletter*, 7(1).
- Muhsin, Irwandi, Munadi, K., Meilianda, E., Idris, Y., Rusydy, I., Nugroho, A., Setiawan, I., Syamsidik, Al'ala, M., Fachrurrazi. 2016. *Laporan Kaji Cepat Universitas Syiah Kuala terhadap Gempa Bumi 6.5 Mw Tanggal 7 Desember 2016 di Sekitar Pidie Jaya-Aceh*. Tim Kaji Cepat Dampak Gempa Bumi Universitas Syiah Kuala.
- Ndeo, N.M. 2012. Analisis Inversi Seismogram 3 Komponen untuk Menentukan Mekanisme Sumber Gempa Bumi Mentawai 2010 dan Aceh 2012. *Laporan Kerja*. Jurusan Geofisika Akademi Meteorologi dan Geofisika.
- Rachmawati, L.E dan Santosa, B.J. 2014. *Estimasi Moment Tensor dan Pola Bidang Sesar pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Utara Periode 2012-2014*. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 3 (2): A1-A5.
- Shearer, P.M. 2009. *Introduction to Seismology Second Edition*. Cambridge University Press, New York.
- Sokos, E. N., & Zahradnik, J. 2008. *ISOLA a Fortran Code and a Matlab GUI to Perform Multiple-point Source Inversion of Seismic Data*. *Computers & Geosciences*, 34(8), 967-977.
- Sokos, E. N., Zahradnik J. 2009. *A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes*. User's Guide.
- Sokos, E. N., Zahradnik J. 2016. *ISOLA Costa Rica 2016 Course*. User's Guide.
- Stein, S. & Wysession, M. 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell Publishing. Oxford.
- Wessel, P. & Smith, W. H. F. 1998. New, Improved Version of Generic Mapping Tools Released. *EOS*. 79 (47): 579.
- Wifayanti, E.J. dan Santosa, B.J. 2014. Estimasi Pola Bidang Sesar dan Moment Tensor Gempa Bumi Jepang pada Tahun 2003 Menggunakan Analisis Inversi Waveform 3 Komponen. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 3 (2): 126-131.