

JURNAL LINGKUNGAN DAN BENCANA GEOLOGI Journal of Environment and Geological Hazards

ISSN: 2086-7794, e-ISSN: 2502-8804 Akreditasi KEMENRISTEKDIKTI: 21/E/KPT/2018 Tanggal 9 Juli 2018 e-mail: perpustakaan.pag@esdm.go.id - http://jlbg.geologi.esdm.go.id/index.php/jlbg

Deformasi Pulau Lombok Berdasarkan Data GPS

Deformation of Lombok Island Based on GPS Data

Cecep Sulaeman¹, Pandu A. Minarno¹, Haunan Afif¹, Rahayu Robiana¹ Akhmad Solikhin¹, Amalfi Omang¹, Supartoyo¹, Imam Priambodo¹, Sri Hidayati¹, Irwan Meilano²

¹Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi Jalan Diponegoro 57 Bandung, Jawa Barat - Indonesia ²Institut Teknologi Bandung Jalan Ganesha 10 Bandung, Jawa Barat - Indonesia Naskah diterima 06 September 2017, selesai direvisi 20 Maret 2019, dan disetujui 29 April 2019 *e-mail*: cecepsula@gmail.com

ABSTRAK

Hasil survei secara periodik di Pulau Lombok menunjukkan pergeseran horizontal titik ukur GPS ke timur laut dengan kecepatan 6,65 mm/th hingga 22,76 mm/th. Sementara secara vertikal umumnya naik dengan kecepatan 2,40 mm/ th hingga 559,86 mm/th. Pulau Lombok bagian tengah hingga selatan mengalami dilatasi luas negatif, sementara di bagian timur laut bernilai positif. Pulau Lombok juga mengalami regangan geser yang umumnya bernilai negatif. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa deformasi tersebut disebabkan oleh interaksi beberapa sumber gempa bumi yaitu subduksi lempeng Indo-Australia, sesar belakang Flores Barat, sesar belakang Flores Timur, Selat Lombok, serta sesar lokal di pantai timur Bali. Potensi momen magnitudo (Mw) gempa bumi yang dihasilkan oleh subduksi, sesar belakang Flores Timur, sesar Selat Lombok, serta sesar lokal di pantai timur Bali masing-masing momen magnitudo Mw 7,1; Mw 6,6; Mw 6,8; Mw 5,8; dan Mw 5,2.

Kata kunci: GPS, pergeseran, regangan, sumber gempa bumi

ABSTRACT

The periodic survey on Lombok Island shows a horizontal displacement of GPS site to the northeast at a velocity of 6.65 mm/yr to 22.76 mm/yr. Generally for vertical displacement is up with ranges at 2.40 mm/yr to 559.86 mm/ yr. Central and southern Lombok undergoes extensive negative dilatation, while in the northeast is positive one. Lombok Island is also experiencing a shear strain that is generally negative. The result of modeling indicates that the deformation in Lombok is mostly contributed by Indo-Australia subduction, West Flores back-arc Thrust, East Flores back-arc Thrust, Lombok Strait Fault, and local fault at eastern coast of Bali, with magnitude moment (Mw) 7.1; 6.6; 6.8; 5.8; and 5.2 respectively.

Keywords: GPS, displacement, strain, earthquake source

PENDAHULUAN

Pulau Lombok di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) terletak di antara Pulau Bali dan Sumbawa. Pulau ini merupakan salah satu wilayah yang rawan dan berpotensi terlanda bencana gempa bumi dan tsunami. Sumber gempa bumi yang mengancam wilayah Lombok berasal dari zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dengan Eurasia di selatan dan sesar naik Busur Belakang di utara. Lempeng Indo-Australia menunjam di bawah Lempeng Benua Eurasia dengan kecepatan 67±7 mm/th dengan arah N11°E±4° (Tregoning, drr., 1994). Sementara Blok Sunda bergerak ke tenggara dengan kecepatan 6 ± 3 mm/th relatif terhadap Eurasia. Menurut episenter gempa bumi periode 1976 - 2015, kegempaan di wilayah Lombok didominasi oleh aktivitas subduksi di selatan dan sesar naik busur belakang Flores di utara serta sesar Selat Lombok seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kegempaan di Pulau Lombok dan sekitarnya berdasarkan fokal mekanisme periode 1976 – 2015 sampai kedalaman 60 km (Sumber: Global CMT Catalog)

Kejadian gempa bumi merusak yang melanda wilayah Pulau Lombok tercatat pada 19 Agustus 1977, 30 Mei 1979, 2 Januari 2004 (Supartoyo, 2014), 22 Juni 2013 (Praja, N. K., 2013), dan terakhir 2 Januari 2016 (Adi, P.Minarno, 2016).

Secara fisiografi, Pulau Lombok termasuk dalam

Busur Gunungapi Nusa Tenggara yang merupakan bagian dari Busur Sunda sebelah timur dan Busur Banda Dalam Gunungapi sebelah barat (Mangga, 1994). Secara stratigrafi, satuan batuan terdiri dari batuan gunungapi, batuan sedimen dan batuan terobosan yang umurnya berkisar dari Tersier sampai Kuarter. Struktur geologi yang terdapat di Pulau Lombok berupa sesar normal dan sesar mendatar yang umumnya berarah barat lauttenggara. Gejala tektonika paling tua terjadi pada Oligosen hingga Meosen Awal dengan diikuti oleh kegiatan gunungapi bawah laut bersusunan andesitbasal yang menghasilkan sedimen gunungapi Formasi Pengulung dan Kawangan. Hal ini diduga akibat penunjaman Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Pada Akhir Tersier atau Awal Kuarter terjadi kegiatan tektonika yang menimbulkan sesar mendatar dan sesar normal.

Survei GPS di Pulau Lombok secara periodik telah dilakukan sebanyak 7 kali dimulai dengan pembuatan patok titik ukur GPS pada Maret 2013, dilanjutkan dengan pengukuran pada September 2013, Maret 2014, Oktober 2014, April 2015, Oktober 2015, dan April 2016. Sebanyak 12 titik ukur GPS menyebar di Pulau Lombok seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Pengukuran dilakukan selama 2 hari sampai 3 hari setiap periodenya. Jumlah jam pengukuran minimal 8 jam setiap hari pengukuran. Penerima GPS yang dipakai adalah Trimble R7, Trimble R8, dan Leica System 2000.



Gambar 2. Peta sebaran titik ukur GPS di Pulau Lombok

Pengolahan data memakai perangkat lunak GAMIT-GLOBK versi 10.6 (Herring drr., 2015). Dalam pengolahan data ini memakai 13 titik referensi global International GNSS Service (IGS) vang mengelilingi Pulau Lombok. Titik referensi IGS tersebut adalah BAKO (Cibinong), COCO (Cocos), DARW (Darwin), GUAM (Guam), NTUS (Nanyang), PIMO (Manila), DGAR (Deigo Garsia), HYDE (Hyderabad), IISC (Bangalore), KARR (Karratha), KUNM (Kunming), LAE (Lae), dan MALD (Maldive) dengan sistem referensi International Terrestrial Reference Frame 2008 (ITRF 2008). ITRF merupakan realisasi dari sistem referensi International Terrestrial Reference System (ITRS) yang titik pusatnya pada pusat massa bumi (geosentrik) dengan sumbusumbunya berorientasi secara konsisten terhadap BIH (the Bureau International de l'Heure) pada epok 1984,0 dan besar panjang sumbu-sumbunya dalam meter (Kuncoro, 2013). Untuk mendapatkan perubahan posisi lokal titik ukur GPS di permukaan bumi, selanjutnya koordinat titik ukur di dalam koordinat geosentrik ditransformasi sistem ke dalam sistem koordinat toposentrik yang mengacu ke suatu epok referensi tertentu, dalam hal ini digunakan koordinat pendekatan titik awal pengukuran di setiap titik ukur GPS. Vektor kecepatan pergerakan setiap titik ukur GPS dapat diestimasi dari perubahan posisi dalam sistem koordinat toposentrik ini. Untuk menghilangkan pengaruh global, maka kecepatan komponen horisontal titik ukur GPS dikoreksi dengan kecepatan pergerakan blok Sunda memakai perangkat lunak Plate-Motion-Calculator dengan model Morvel 2010 yang diakses di situs https:// www.unavco.org. Parameter rotasi Euler blok Sunda yang dipakai dalam perhitungan ini adalah lintang kutub Euler 46,202°U, bujur kutub Euler -85,899°T, dan kecepatan sudut 0,370 derajat/jutatahun (Kuncoro, 2013).

Dalam studi ini diestimasi nilai regangan berdasarkan data kecepatan. Regangan didefinisikan sebagai perubahan panjang per satuan unit panjang mula-mula (Rai dan Kramadibrata, 2007). Regangan positif jika terjadi pertambahan panjang dan negatif bila terjadi pengurangan panjang. Regangan dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu regangan normal dan regangan geser. Regangan geser melibatkan perubahan sudut sedangkan regangan normal mengalami perubahan ukuran tanpa melibatkan perubahan sudut. Penulisan regangan normal dan geser dalam bidang horisontal, secara matematik dikutip dari Lay dan Wallace (1995) adalah sebagai berikut:

- regangan normal searah sumbu x (timur),

$$\mathcal{E}_{\mathbf{x}} = \frac{\partial u}{\partial x} \tag{1}$$

- regangan normal searah sumbu y (utara),

$$\mathcal{E}_{\mathbf{y}} = \frac{\partial v}{\partial y} \tag{2}$$

- regangan geser,

$$\mathcal{E}_{geser} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$
(3)

Penjumlahan nilai regangan normal dalam bidang horisontal disebut dilatasi luas yang ditulis,

$$\mathcal{E}_{luas} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$
(4)

Menurut persamaan di atas, regangan tidak bersatuan karena merupakan perbandingan dimensi yang sama. Dalam studi ini nilai regangan diperoleh dari perubahan komponen vektor kecepatan terhadap lebar kisi. Untuk memperoleh nilai tersebut, dibuat kisi dengan lebar kisi 1200 m dan 850 m masing-masing untuk arah barat - timur dan utara selatan pada area studi. Nilai komponen kecepatan diinterpolasi di setiap titik kisi berdasarkan data pengukuran dengan Model Kriging.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data GPS berupa perubahan posisi yang menggambarkan pergeseran suatu titik ukur GPS dalam interval waktu pengamatan. Hasil estimasi dengan metode kuadrat terkecil dari pergeseran titik tersebut diperoleh vektor kecepatan untuk setiap titik ukur GPS tersebut. Sebagai contoh perubahan komponen posisi (*north, east,* dan *up*) untuk titik ukur PGRJ selama periode September 2013 hingga April 2016 diperlihatkan pada Gambar 3. Dari perubahan posisi tersebut diperoleh nilai komponen kecepatan yaitu -3,55 \pm 1,24 mm/th, 26,80 \pm 1,33 mm/th, dan 0,57 \pm 2,75

mm/th masing-masing untuk komponen *north*, *east*, dan *up*. Di samping itu, diperlihatkan pula nilai *normalised root mean square* (nrms) yang merupakan nilai estimasi perbedaan antara fase pengamatan dengan fase pemodelan, dan nilai *weighted root mean square residual* (wrms) yang merepresentasikan korelasi jangka pendek antardata.

Nilai komponen kecepatan untuk masing-masing titik ukur GPS diperlihatkan pada Tabel 1 dan Gambar 4. Secara horisontal pergeseran titik ukur GPS di Pulau Lombok berdasarkan referensi ITRF 2008 memperlihatkan dominan ke timur - timur laut. Tampak beberapa titik ukur arah pergeserannya ke timur - tenggara yaitu MKYG, PGRJ, MPGB, dan MJRW. Nilai kecepatan horisontal bervariasi yaitu terkecil 24,45 mm/th di titik KDDO, dan terbesar 40,29 mm/th di MPKT. Secara vertikal (*up*) umumnya naik dengan nilai bervariasi yaitu terkecil 0,57 mm/th di PGRJ dan terbesar 559,86 mm/th di MKYG. Hanya MPKT turun dengan nilai 7,10 mm/th.

Nilai kecepatan horisontal di masing-masing titik ukur tersebut dikoreksi dengan pergeseran Blok Sunda yang arahnya hampir ke tenggara (Gambar 5) dengan nilai kecepatan rata-rata 28 mm/th, sehingga diperoleh kecepatan lokal di masing-



Gambar 3. Grafik posisi vs waktu titik ukur PGRJ periode September 2013 - April 2016

Tabel 1. Kecepatan pergeseran titik ukur GPS di Pulau Lombok Periode September 2013 - April 2016

	Resultan kecepatan horisontal (mm/th)						
Nama	East(E)	$\pm E$	North(N)	$\pm N$	Up	$\pm up$	
KDOO	23,65	1,61	-6,22	1,28	153,84	5,95	24,45
MDRI	38,07	2,87	0,03	2,30	4,87	11,80	38,07
MJRW	29,29	2,25	-4,07	1,72	3,52	7,80	29,57
MKYG	28,27	2,05	-3,98	1,74	559,86	162,06	28,55
MMTR	36,38	2,84	4,15	2,35	18,43	11,02	36,62
MPCR	31,96	2,69	4,49	2,00	2,40	8,60	32,27
MPGB	29,78	2,25	-2,75	1,82	9,54	7,92	29,91
MPKT	40,00	3,15	4,82	2,50	-7,10	11,13	40,29
MPNJ	40,06	3,21	1,12	2,62	24,46	12,18	40,08
MTJG	36,05	2,84	3,38	2,63	11,57	6,,66	36,21
MTTL	38,59	3,76	8,63	3,17	14,49	14,36	39,54
PGRJ	26,8	1,33	-3,55	1,24	0,57	2,75	27,03



Gambar 4. Vektor kecepatan horisontal titik ukur GPS di Pulau Lombok berarah timur-timurlaut untuk periode September 2013 - April 2016 berdasarkan referensi ITRF 2008

masing titik ukur GPS (Gambar 6 dan Tabel 2). Kecepatan pergeseran titik ukur GPS terkoreksi memperlihatkan arah ke timur laut dengan nilai bervariasi yaitu terkecil 6,65 mm/th di KDDO dan terbesar 24,95 mm/th di MTTL.



Gambar 5. Vektor kecepatan horisontal Blok Sunda berarah tenggara di titik ukur GPS di Pulau Lombok

Tabel 2. Kecepatan pergeseran horisontal titik ukur GPS Periode September 2013 - April 2016 setelah dikoreksi pergerakan Blok Sunda

Nama	Vektor ke (mm/	Resultan kecepatan horisontal		
titik	East	North	(mm/yr)	
KDOO	-1,87	6,38	6,65	
MDRI	12,82	12,46	17,88	
MJRW	4,02	8,51	9,41	
MKYG	2,76	8,52	8,96	
MMTR	11,01	16,59	19,91	
MPCR	6,60	-9,1	11,24	
MPGB	4,39	9,88	10,81	
MPKT	14,76	17,32	22,76	
MPNJ	14,76	13,61	20,08	
MTJG	10,59	15,83	19,05	
MTTL	13,23	21,15	24,95	
PGRJ	1,32	9,04	9,14	



Gambar 6. Vektor kecepatan horisontal titik ukur GPS di Pulau Lombok berarah timurlaut setelah dikoreksi pergerakan Blok Sunda

Pulau Lombok mengalami dilatasi luas dengan nilai negatif hingga positif antara -8,61 x 10-07 hingga +3,91 x 10-07. Dilatasi negatif berada di tengah sampai Lombok bagian selatan, kecuali di daerah Biongos (Gambar 7). Sementara dilatasi positif terdapat di Lombok bagian timur laut. Daerah dengan dilatasi negatif diartikan sebagai daerah yang mengalami pengurangan luas atau mengkerut. Sementara daerah dengan dilatasi positif mengalami penambahan luas atau mengembang. Pulau Lombok juga mengalami regangan geser dengan nilai negatif hingga positif antara -9,74 x 10⁻⁰⁷ hingga +4,17 x 10⁻⁰⁷. Umumnya Pulau Lombok mengalami regangan geser negatif, kecuali daerah Biongos (selatan), Mataram (tengah), Anyar (utara), seperti terlihat pada Gambar 8. Daerah regangan negatif diartikan sebagai daerah yang mengalami perubahan ukuran juga perubahan bentuk ke kiri dengan sudut negatif. Sementara daerah dengan regangan geser positif mengalami perubahan ukuran juga perubahan bentuk ke kanan dengan sudut positif.

Dalam studi ini dibuat model sumber gempa bumi untuk mengetahui penyebab pergeseran titik ukur GPS tersebut memakai perangkat lunak Coulomb versi 3.3 (Shinji Toda, drr,, 2011). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa interaksi sumber gempa bumi yang menyebabkan pergeseran mirip dengan data GPS adalah subduksi Lempeng Indo-Australia (*megathrust* Sumba), sesar Busur Belakang Flores Barat, sesar Busur Belakang Flores Timur, sesar Selat Lombok, dan sesar lokal di pantai Bali timur (Gambar 9) dengan parameter seperti diperlihatkan pada Tabel 3. Interksi lempeng tersebut menyebabkan pergeseran titik ukur GPS ke arah timur laut yang mirip dengan data (Gambar 10). Namun, selisih nilai data dengan model masih besar yaitu antara 2,70 mm/th hingga 15,24 mm/ th untuk masing-masing komponen kecepatan, kecuali di PGRJ dan MKYG kurang dari 1 mm/th.



Gambar 7. Dilatasi luas per tahun di Pulau Lombok (tanpa satuan)



Gambar 8. Regangan geser per tahun di Pulau Lombok (tanpa satuan)

Secara global dengan sistem referensi ITRF2008, hasil survei GPS di Lombok memperlihatkan pergeseran titik ukur GPS dominan ke arah tenggara mirip dengan hasil peneliti terdahulu seperti ditunjukkan oleh Bock drr., 2003. Setelah dikoreksi oleh pergeseran Blok Sunda berubah ke timur laut yang mirip dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan Koulali (2016). Hasil estimasi regangan menunjukkan bahwa Pulau



Gambar 9. Model sumber gempa bumi (struktur) yang menyebabkan pergerakan Pulau Lombok



Gambar 10. Model kecepatan dan data GPS di Pulau Lombok

Tabel 3. Parameter input model sumber gempabumi

Lombok mengalami dilatasi dan regangan geser bernilai negatif hingga positif.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa deformasi tersebut disebabkan oleh aktivitas sumber gempa bumi utama yaitu subduksi Lempeng Indo-Autralia yang menunjam di bawah Pulau Lombok dan sesar Busur Belakang Flores di utara Bali dan Lombok-Sumbawa serta sesar Selat Lombok.

Pemodelan dengan perangkat lunak Coulomb cukup sulit mendapatkan hasil model kecepatan yang mirip dengan data karena banyaknya parameter yang harus dicoba, namun diperoleh gambaran bahwa faktor utama yang mempengaruhi deformasi Lombok adalah subduksi lempeng Indo-Autralia di selatan dan sesar Busur Belakang Flores di utaranya serta sesar Selat Lombok.

Potensi momen magnitudo (Mw) gempa bumi yang disebabkan oleh subduksi, sesar Busur Belakang Flores Barat, sesar Busur Belakang Flores Timur, sesar Selat Lombok, serta sesar lokal di pantai timur Bali masing-masing momen magnitudo Mw 7,1; Mw 6,6; Mw 6,8; Mw 5,8; dan Mw 5,2.

Subduksi dan sesar Busur Belakang Flores memiliki jenis sesar naik dengan Pulau Lombok sebagai blok *hanging wall*. Posisi pulau Lombok lebih dekat terhadap bidang sesar Busur Belakang Flores dibanding bidang penunjaman Lempeng Indo-Australia, sehingga arah pergeseran titik ukur GPS di Lombok menjadi ke timur laut.

Model sumber	Panjang (km)	Lebar (km)	Jurus (°)	Kedala- man atas (km)	Ke- dalaman bawah (km)	Dip (°)	Re- verse slip (m)	<i>Right-</i> <i>lateral</i> <i>Slip</i> (m)	Moment magnitudo (Mw)
Subduksi	427,27	133,47	273,93	0	50,00	22,0	0,03	0,00	7,1
(Megathrust									
Sumba) Sesar Busur Belakang	170,50	44,05	90,93	0	20	27	0,03	-0,009	6,6
Flores Barat Sesar Busur Belakang	277,13	31,11	87,08	0	20	27	0,04	-0,005	6,8
Flores Timur Sesar Selat Lombok	54,75	15,00	26,91	0	15	90	0	-002	5,8
Sesar lokal	15,04	10	57,40	0	10	90	0,002	0,015	5,2

KESIMPULAN

Secara horisontal titik ukur GPS di Lombok dominan bergeser ke timur laut dengan nilai bervariasi antara 6,65 mm/th hingga 24,95 mm/ th. Nilai kecepatan terkecil di KDDO sebesar 6,65 mm/th, dan terbesar di MTTL 24,95 mm/th. Secara vertikal titik ukur GPS di Lombok umumnya naik dengan nilai + 0,57 mm/th hingga 559,86 mm/th, kecuali titik ukur MPKT turun -7,10 mm/th. Pulau Lombok mengalami dilatasi luas dengan nilai negatif hingga positif antara -8,61 x 10⁻⁰⁷ hingga +3,91 x 10-07. Pulau Lombok juga mengalami regangan geser dengan nilai negatif hingga positif antara -9,74 x 10⁻⁰⁷ hingga +4,17 x 10⁻07. Hasil pemodelan menunjukkan arah pergeseran titik ukur GPS di Pulau Lombok tersebut sebagai akibat dari aktivitas tunjaman antara Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia, sesar Busur Belakang Flores Brat, sesar Busur Belakang Flores Timur, sesr Selat Lombok, dan sesar di pantai timur Bali dengan momen magnitudo (Mw) masing-masing Mw 7,1; Mw 6,6; Mw 6,8; Mw 5,8; dan Mw 5,2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Kepala Bidang Mitigasi Bencana Gempa Bumi dan Gerakan Tanah yang telah memberi kesempatan melakukan survei GPS di Lombok. Terima kasih disampaikan pula kepada Dr. Dina Sarsito, Dr. Endra Gunawan, Putra Maulida, M.T., H. Kuncoro, M.T., dan Riko, M.T, dari Geodesi ITB atas diskusi dan masukannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, P. Minarno, Cecep Sulaeman, Akhmad Solihin, Haunan Afif, 2016. Laporan Penelitian Pendefinisian Sumber Gempabumi Pulau Lombok. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, tidak dipubliksikan.
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J.F., Stevens, C.W., McCaffrey, R., 2003. Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B8.
- Herring, T.A., King, R.W., Floyed, M.A., and McClusky, S.C., 2015. *Introduction to Gamit/Globk Release 10.6*. Massachusetts

Institute of Technology, Cambridge.

- Koulali, A., S. Susilo, S. McClusky, I. Meilano, P. Cummins, P. Tregoning, G.Lister, 2016. Crustal strain partitioning and the associated earthquake hazard in the eastern Sunda-Banda Arc. AGU PUBLICATIONS.
- Kuncoro, H., 2013. Estimasi Parameter Rotasi Euler Blok Sunda Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinyu dan Episodik di Regional Asia Tenggara. Tesis magister ITB.
- Lai, T., dan Wallace, T.C., 1995. *Modern Global* Seismology. Academic Pres, hal. 34-46.
- Mangga, S.A., Atmawinata, S., Hermanto, B., Setyogroho, B., dan Amin, T.C., 1994. *Peta geologi lembar Lombok, Nusa Tenggara Barat, skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Praja, N.K., 2013. Laporan Tanggap Darurat Gempa Bumi Lombok 22 Juni 2013. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, tidak dipublikasikan.
- Rai, M.A., dan Kramadibrata, S., 2007. *Mekanika Batuan, Catatan Kuliah.* Penerbit ITB, hal. 16 - 26.
- Supartoyo, Surono, E.K. Putranto, tanpa tahun. Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1612 – 2014. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Toda, S., Stein, R.S., Sevilgen, V., and Lin J., 2011. Coulomb 3.3, Graphic_Rich Deformation and Stress-Change Software for Earthquake, Tectonic, and Volcano Research and Teaching, Earthquake science Center, Menlo Park Science Center, U.S. Geological Survey, http://earthquake.usgs.gov.
- Tregoning, P., F.K. Brunner, Y. Bock, S.S.O.Puntodewo, R.McCaffrey, J.F.Genrich, E. Calais, J. Rais and C. Subarya, 1994. First Geodetic Measurement of Confergence Across the Java Trench. *Geophysical Research Letters*, Vol. 21, No. 19, p.2135-2138.
- Morvel, 2010, https://www.unavco.org/software/ geodetic-utilities/plate motion calculator/ plate motion calculator.html.
- Global CMT Catalog, http://www.globalcmt.org/ CMTsearch.html, diunduh Januari 2017.