

Analisis Guncangan Gempa Bumi Lombok dan Palu Tahun 2018***Shaking Analysis of 2018 Lombok and Palu Earthquake***Indriati Retno Palupi¹, Wiji Raharjo¹, dan Oktavia Dewi Alfiani²¹Teknik Geofisika UPN “Veteran” Yogyakarta
Jl. Pajajaran (SWK) No. 104 Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55293, Indonesia²Teknik Geomatika UPN “Veteran” Yogyakarta
Jl. Pajajaran (SWK) No. 104 Condongcatur, Sleman, Yogyakarta 55293, Indonesia

e-mail: inder13101986@gmail.com

Naskah diterima 17 Juli 2019, selesai direvisi 29 Agustus 2020, dan disetujui 30 Agustus 2020

ABSTRAK

Gempa bumi Lombok dan Palu di Sulawesi Tengah pada tahun 2018 mengakibatkan banyaknya kerusakan pada bangunan yang ada di wilayah sekitar gempa bumi. Kedua gempa tersebut sama-sama bersumber dari patahan tetapi memiliki karakteristik yang berbeda. Gempa bumi di Lombok didahului oleh *foreshock* dengan jarak tujuh hari dari *mainshock* sementara gempa bumi Palu mengakibatkan timbulnya fenomena tsunami dan likuefaksi. Salah satu efek yang ditimbulkan akibat gempa bumi dan dirasakan langsung oleh masyarakat adalah guncangan tanah. Guncangan tersebut dapat dirasakan sampai dengan ratusan kilometer dari pusat lokasi gempa bumi dengan berbagai variasi kekuatan yang berbeda-beda, tergantung pada mekanisme fokus, besaran magnitudo gempa bumi itu sendiri dan jarak lokasi dari sumber gempa bumi serta faktor geologi. Atenuasi percepatan tanah merupakan salah satu metode untuk memperkirakan seberapa besar kekuatan guncangan tanah akibat gempa bumi. Dalam penelitian ini digunakan persamaan menurut Campbell (1981), Idriss (2002) dan Fukushima. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daerah di bagian sisi barat dan timur Pulau Lombok serta hampir semua daerah di Sulawesi Tengah memiliki percepatan tanah yang cukup besar akibat gempa bumi.

Kata kunci: atenuasi percepatan tanah, jarak, gempa Lombok, gempa Palu, magnitudo, mekanisme fokus

ABSTRACT

Lombok and Palu earthquake (Central Sulawesi) in 2018 caused such damage to buildings in area around earthquake location. Both of them came from fault but they had their own characteristic. Lombok earthquake started with foreshock seven days before mainshock, while Palu earthquake its cause tsunami and liquefaction phenomena. One effect caused by earthquake and felt by peoples is ground shaking. Ground shaking can be felt by people until hundred kilometers from earthquake location, depended on its focal mechanism, magnitude, the distance of the location and geological factors. Attenuation of Ground Acceleration is one method to calculate the energy of ground shaking. In this research, we use ground acceleration equation from Campbell (1981), Idriss (2002) and Fukushima. The result showed that in west and east part of Lombok island and most of the area of Central Sulawesi have high ground shaking caused by the earthquake.

Keywords: ground acceleration, distance, Lombok earthquake, Palu earthquake, magnitude, focal mechanism

PENDAHULUAN

Pada tahun 2018, terjadi dua kejadian gempa bumi di Indonesia yang sama-sama bersumber dari patahan tetapi memiliki karakter masing-masing. Kedua gempa bumi tersebut terjadi di

Lombok (disebabkan sesar Flores) dan Donggala, Sulawesi Tengah (disebabkan oleh sesar Palu Koro). Keduanya merupakan peristiwa bencana yang jarang terjadi karena Gempa Lombok didahului oleh *foreshock* dengan magnitudo yang

cukup tinggi dan sempat dikira sebagai gempa utama sementara gempa Palu yang memiliki mekanisme fokus sesar geser menyebabkan terjadinya tsunami (tsunami biasanya disebabkan oleh gempa dengan mekanisme fokus sesar naik) serta likuefaksi. Salah satu efek yang dirasakan akibat gempa bumi adalah guncangan tanah. Besarnya guncangan tanah di tiap tempat berbeda tergantung dari jarak ke sumber gempa. Untuk itulah dihitung besarnya guncangan tanah di sekitar daerah penelitian dengan menggunakan persamaan atenuasi Campbell (1981), Idriss (2002) dan Fukushima. Persamaan atenuasi Campbell mengelompokkan gempa tergantung dari kedalamannya, persamaan atenuasi Idriss menyediakan periode getaran beserta koefisiennya sehingga dapat dilakukan simulasi sementara atenuasi Fukushima lebih sederhana hanya tergantung pada jarak dan magnitudonya. Penelitian ini bertujuan untuk melihat deskripsi besarnya guncangan tanah dengan menggunakan ketiga persamaan tersebut.

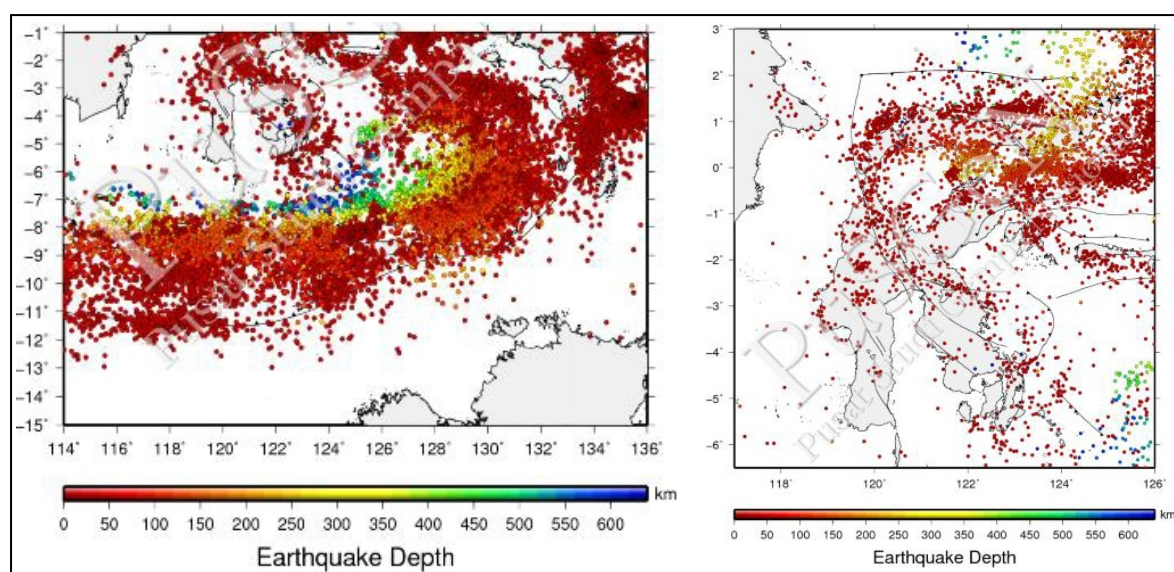
Rangkaian gempa bumi Lombok dimulai dari 29 Juli 2018 dengan magnitudo 6.4. Kemudian terjadi gempa bumi yang lebih kecil dengan magnitudo 5.7 (Irsyam drr, 2018). Gempa bumi ini awalnya dianggap sebagai gempa bumi utama, tetapi pada 5 Agustus 2018, terjadi gempa bumi

yang lebih besar dengan magnitudo 6.9 yang merupakan gempa bumi utama. Berdasarkan laporan dari AHA BNPB pada 5 Agustus 2018, ada 20 orang meninggal dunia, lebih dari 400 orang luka-luka, dan lebih dari 13 ribu bangunan rusak.

Peristiwa gempa bumi Donggala terjadi pada 28 September 2018. Gempa bumi tersebut memiliki magnitudo 7.4 dan mengakibatkan tsunami dan likuefaksi di sekitar kota Palu dan Donggala. Berdasarkan data BNPB, ada lebih dari 632 orang terluka, 844 bangunan rusak, 90 orang dinyatakan hilang dan 934 desa terdampak gempa bumi dan tsunami (AHA Center, 2018).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Irsyam, drr (2017), Pulau Lombok dan Sulawesi merupakan daerah yang memiliki seismisitas yang cukup tinggi seperti dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, diketahui bahwa seismisitas di kedua wilayah tersebut didominasi oleh gempa bumi dangkal. Sumber gempa bumi Lombok adalah sesar Flores yang ada di sebelah utara dan sumber gempa bumi di Sulawesi Tengah adalah sesar Palu Koro yang memanjang di bagian tengah yang terjadi pada tahun 2018.



Gambar 1. (a) Seismisitas di sekitar Bali, Lombok dan Nusa Tenggara Timur; (b) seismisitas di sekitar Pulau Sulawesi masing-masing dengan magnitudo ≥ 4.5 (Irsyam drr, 2017).

Berdasarkan catatan sejarah, diketahui bahwa pada 1927, 1968, dan 1996 pernah terjadi tsunami dengan sumber gempa bumi sesar Palu Koro masing-masing dengan magnitudo sebesar 6.3, 7.4 dan 7.7 (Irsyam drr, 2017).

METODE PENELITIAN

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, penelitian ini menggunakan persamaan atenuasi percepatan tanah oleh Campbell (1981), Idriss (2002) dan Fukushima. Data yang digunakan adalah lokasi gempa Lombok dan Palu Koro pada tahun 2018 yang diunduh dari situs USGS. Data tersebut diasumsikan sudah direlokasi. Selanjutnya, dihitung besarnya guncangan tanah berdasarkan jarak sumber gempa ke tiap-tiap *site* yang ada di lokasi penelitian, besarnya magnitudo dan jenis sesar. Untuk data *site*, digunakan data topografi Pulau Lombok dan sekitarnya serta sebagian Pulau Sulawesi untuk dipilih menjadi *site* penelitian yang diambil dari situs Topex, sedangkan untuk mengolah data tersebut, peneliti membuat sendiri *script* programnya dalam bahasa pemrograman MATLAB.

Persamaan atenuasi merupakan model matematis yang memprediksi pergerakan tanah secara statistik (Baker, 2008 op cit Putra *et al.* 2012). Salah satu dari persamaan atenuasi adalah persamaan atenuasi oleh Fukushima *et al.* (1999) op cit Putra *et al.* (2012):

$$\log A = 0.41 * M_w - \log(R + 0.032 * 10^{(0.41 * M_w)}) - 0.0034R + 1.3 \dots (1)$$

di mana A adalah PGA, M_w adalah magnitudo momen, dan R adalah jarak episenter gempa bumi ke *site*. Jika percepatan horizontal dari jenis batuan atau lapisan tanah diketahui, maka persamaan (1) dikalikan dengan 0.6 dan 1.4 (Putra *et al.* 2012).

Persamaan atenuasi sering digunakan untuk memperkirakan kekuatan guncangan tanah pada suatu daerah tertentu (*site*) dan analisis bencana seismik yang lebih bersifat regional. Secara matematis, persamaan atenuasi dapat dihitung dengan menggunakan informasi-

informasi seismologi, di antaranya magnitudo, jarak antara sumber Gempa bumi dan *site*, mekanisme fokus, dan kondisi di sekitar *site* (Campbell, 2002, 2003 op cit Campbell, 2003). Persamaan atenuasi biasanya dibangun dengan menggunakan metode stokastik. Metode stokastik muncul berawal dari besarnya ketidakpastian dalam menentukan nilai guncangan tanah. Dengan metode ini, dibangun sebuah persamaan empiris yang selanjutnya diperbandingkan antara satu daerah dengan daerah lainnya. Dari persamaan empiris tersebut kemudian menjadi acuan dalam mengaitkan hubungan antara guncangan tanah dengan seismisitas di sebuah tempat (Campbell, 2003). Ada berbagai variasi persamaan untuk menghitung atenuasi percepatan tanah. Dalam Prawirodikromo (2012), persamaan atenuasi percepatan tanah selain persamaan Fukushima. Persamaan tersebut antara lain:

Persamaan atenuasi Campbell (1981):

$$PGA = 0.0159e^{0.868M} (R_C + 0.0606e^{0.70M})^{(-1.09)} \dots (2a)$$

$$PGA = 0.0185e^{1.28M} (R_C + 0.147e^{0.732M})^{(-1.75)} \dots (2b)$$

Persamaan atenuasi percepatan tanah Campbell memperhatikan faktor magnitudo dan jarak pusat gempa bumi terhadap lokasi. Persamaan (2.a) digunakan untuk menghitung atenuasi percepatan tanah dengan kedalaman gempa bumi kurang dari 25 km dan jarak lokasi ke pusat gempa bumi kurang dari 50 km. Gempa bumi tersebut dikenal dengan *shallow crustal earthquake*, selain itu digunakan persamaan (2.b).

Persamaan atenuasi Idriss (2002):

$$\ln Y = (\alpha_1 + \alpha_1 M) - (\beta_1 + \beta_2 M) \ln(R + 10) + \phi F \dots (3)$$

di mana α_1 , α_2 , β_1 , β_2 dan ϕ adalah koefisien yang dipengaruhi oleh periode T yang nilai-nilainya tertentu. Nilai F =1 untuk mekanisme fokus *reverse fault* dan *oblique fault* dan F = 0 untuk yang lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode yang lebih sederhana dibandingkan PSHA dan DSHA, sehingga tidak dihubungkan dengan profil percepatan di batuan dasar. Untuk mengetahui profil percepatan di batuan dasar diperlukan data *raw data (seismogram)* gempa bumi dan model/profil kecepatan gelombang S dari daerah penelitian sehingga pada akhirnya akan diketahui profil bawah permukaannya (Pusat Seismologi Teknik, Geofisika Potensial dan Tanda Waktu, BMKG) dan selanjutnya diolah dengan menggunakan metode HVSR, sedangkan pada penelitian ini hanya digunakan lokasi gempa bumi dan data topografi. Dengan menggunakan data topografi dan koordinat gempa bumi, nilai pga dihitung berdasarkan jarak tiap titik topografi dengan koordinat gempa bumi. Berdasarkan perhitungan atenuasi percepatan tanah menurut persamaan-persamaan yang telah disebutkan terhadap lokasi gempa bumi Lombok dan Palu, didapatkan hasil pada Gambar 2 dan 3.

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa sebaran spektra guncangan tanah akibat gempa bumi Lombok dengan mekanisme fokus patahan naik dan magnitudo 6,9 dapat mencapai Nusa Tenggara Timur menurut persamaan atenuasi Campbell (1981), sedangkan menurut Fukushima, sebarannya lebih luas lagi. Pada Gambar 2 (c) sampai (l) adalah hasil perhitungan atenuasi Idriss (2002) untuk gempa bumi Lombok. Terlihat bahwa daerah yang berada di sekitar Pulau Lombok memiliki guncangan dengan nilai berada di sekitar 7 dengan kecenderungan penurunan pada awal periode tetapi kemudian mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya periode. Nilai persamaan percepatan guncangan tanah sesuai dengan persamaan (1) sampai (3) dalam logaritma natural (ln). Dengan hasil negatif menandakan bahwa semakin kecil nilainya maka guncangannya semakin besar dikarenakan seperti pada penjabaran persamaan berikut ini:

$$\ln Y = -\text{nilai} \dots\dots\dots (4)$$

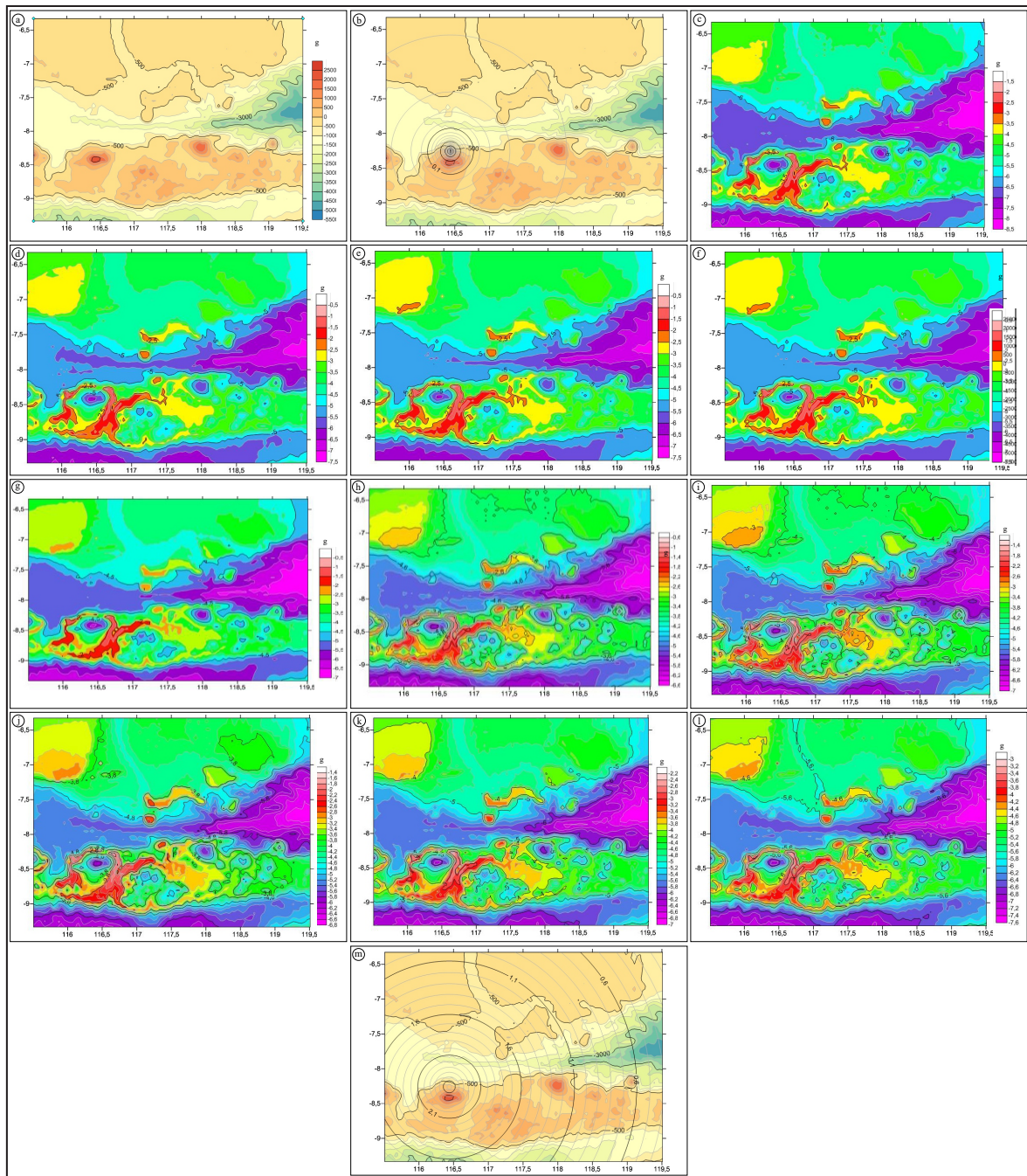
$$e^{-\text{nilai}} = Y \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{1}{e^{\text{nilai}}} = Y \dots\dots\dots (6)$$

Berdasarkan persamaan (4) sampai (6), warna merah pada Gambar 2 dan 3 menunjukkan guncangan yang tinggi sehingga pada Pulau Lombok guncangan cukup tinggi dirasakan terutama di sekeliling Pulau Lombok, terutama di bagian timur. Hal ini sesuai dengan *Kajian Rangkaian Gempa bumi Lombok, NTB* oleh Tim PusGeN dan Puslitbang PUPR (2018). Menurut Kajian tersebut, potensi Kawasan Rawan Bencana Pulau Lombok terletak terutama di Lombok Utara dan Lombok Timur, yaitu pada skala VII-VIII menurut *Modified Mercally Intensity* (Gambar 4).

Warna merah muda (*pink*) pada Gambar 4 (a) dikategorikan sebagai wilayah KRB tinggi sedangkan warna kuning dikategorikan sebagai wilayah KRB menengah. KRB tinggi itu didukung oleh sebaran deformasi yang cukup tinggi pada Gambar 4(b). Jika dibandingkan dengan peta atenuasi Idriss (2002), terdapat kesesuaian di bagian selatan dan timur Pulau Lombok yang ditandai dengan warna merah. Selain itu, warna merah pada peta atenuasi percepatan tanah Idriss (2002) juga senada dengan daerah yang mengalami kerusakan berat di sekitar Pulau Lombok yang didominasi di sebelah utara Pulau Lombok (Gambar 5).

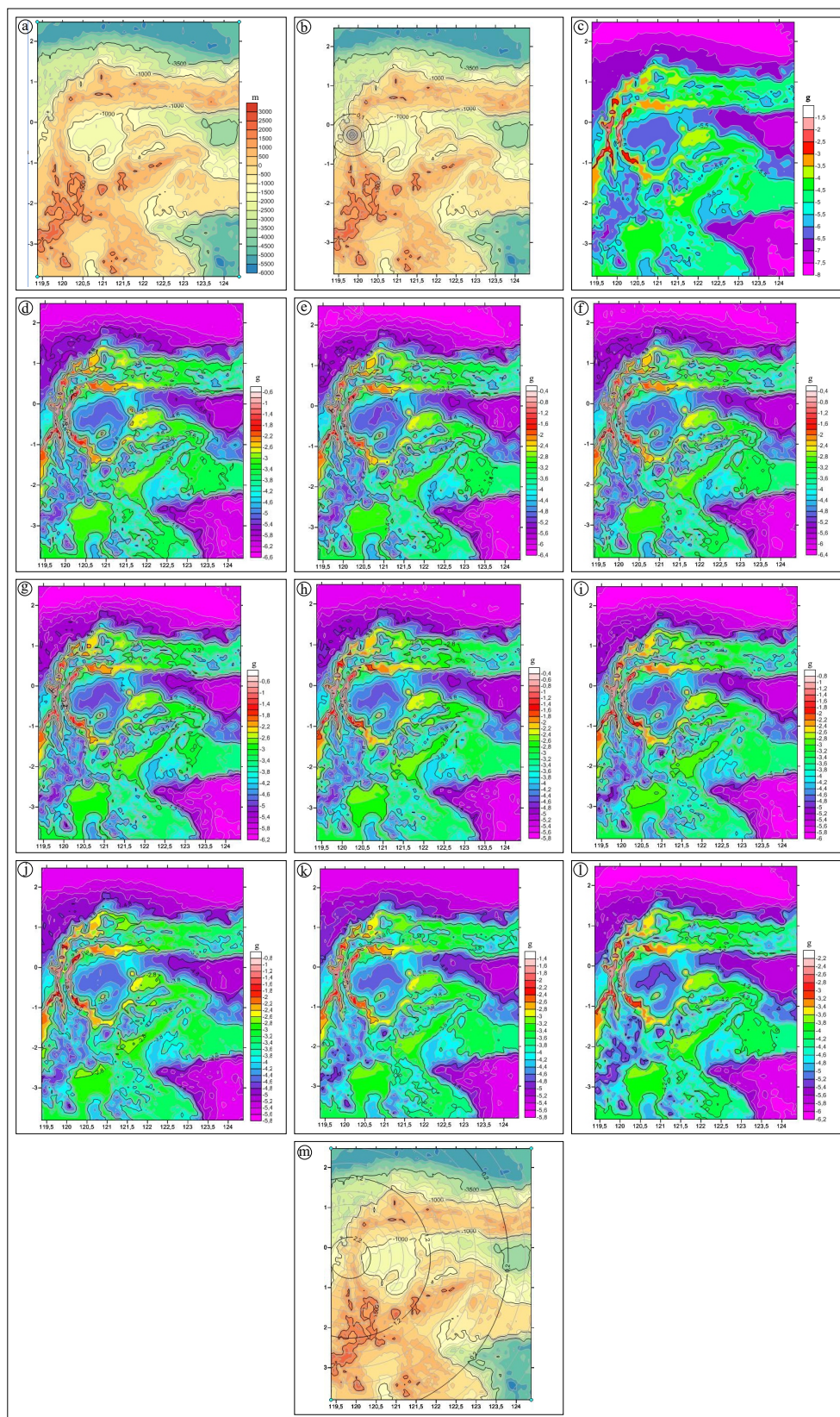
Sementara itu, pada peta atenuasi percepatan tanah untuk gempa bumi Palu, penyebaran spektral guncangan tanahnya lebih merata di Sulawesi Tengah yang lokasinya dekat dengan sumber gempa bumi. Gempa bumi tersebut bersumber dari sesar Palu Koro dengan mekanisme fokus sesar mendatar (*strike fault*) dan magnitudo sebesar 7,5. Secara umum perubahan spektral guncangan tanah gempa bumi Palu tidak begitu signifikan bila dibandingkan dengan Lombok. Gempa bumi Palu memiliki nilai spektral guncangan tanah sekitar 6 g dengan penyebaran yang lebih merata karena topografi di sekitar pusat gempa yang tidak



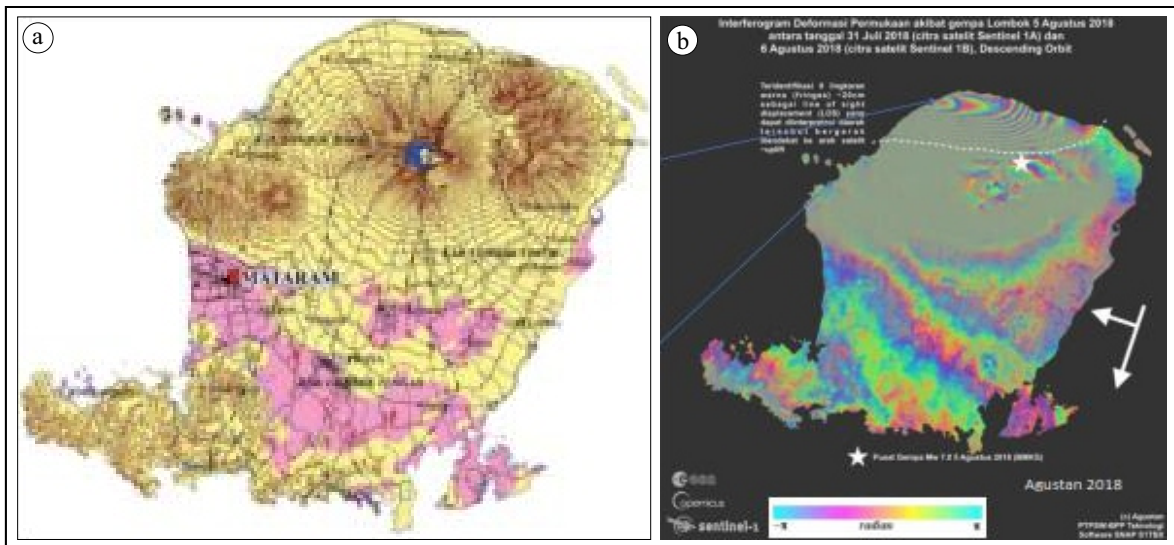
Gambar 2. (a) Topografi Pulau Lombok dan sekitarnya; (b) Atenuasi Percepatan Tanah persamaan Campbell (1981) dinyatakan dengan radius; (c) sampai dengan (l) Atenuasi Percepatan Gempa bumi Bumi Persamaan Idriss (2002) dengan periode masing-masing $T=0$, $T=0.1$, $T=0.15$, $T=0.2$, $T=0.25$, $T=0.5$, $T=0.7$, $T=1$, $T=2$ dan $T=3$; (m) Atenuasi Percepatan Tanah Fukushima (1990) dinyatakan dengan radius. Semua nilai percepatan/ besarnya guncangan tanah akibat gempa bumi dalam satuan g.

terlalu bervariasi. Sementara itu, untuk Pulau Lombok, penyebaran nilai percepatannya tidak merata. Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa daerah di sekitar Gunung Rinjani memiliki nilai percepatan gempa bumi yang rendah, hal ini dimungkinkan disebabkan oleh media yang ada di sekitar Gunung Rinjani yang tidak banyak

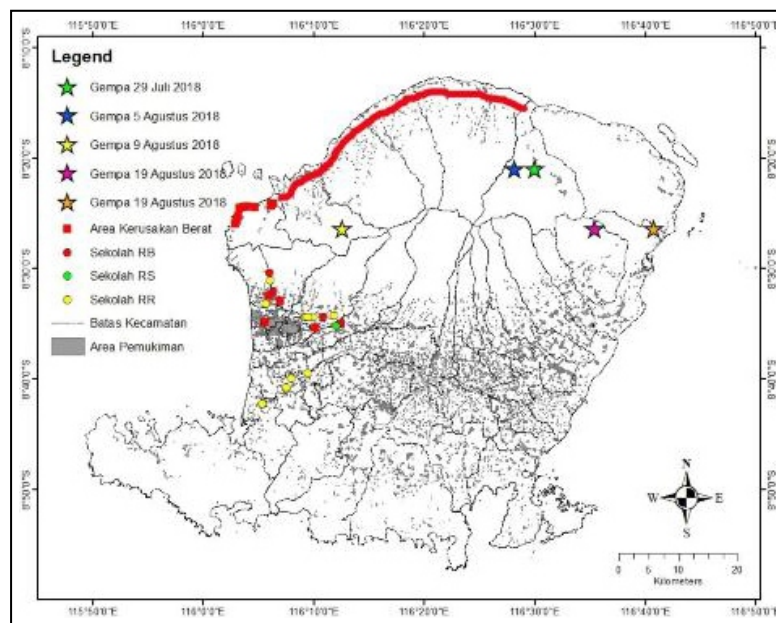
mengabsorpsi energi guncangan akibat gempa bumi disebabkan medianya yang bersifat lebih *rigid* sehingga memantulkan energi gelombang gempa bumi yang melaluinya. Selain itu, energi yang dibawa oleh gelombang gempa bumi telah teredam terlebih dahulu sebelum mencapai daerah sekitar Gunung Rinjani ditambah dengan



(a) Topografi Sulawesi Tengah dan sekitarnya; (b) Atenuasi Percepatan Tanah persamaan Campbell (1981) dinyatakan dengan radius; (c) sampai dengan (l) Atenuasi Percepatan Tanah Persamaan Idriss (2002) dengan periode masing-masing $T=0$, $T=0.1$, $T=0.15$, $T=0.2$, $T=0.25$, $T=0.5$, $T=0.7$, $T=1$, $T=2$ dan $T=3$; (m) Atenuasi Percepatan Tanah Fukushima (1990) dinyatakan dengan radius. Semua nilai percepatan/besarnya guncangan tanah akibat gempa bumi dalam satuan gal.



Gambar 4. (a) Peta Kawasan Rawan Bencana Pulau Lombok (Puslitbang PUPR, 2018); (b) Deformasi Pulau Lombok akibat Gempa bumi (Tim PusGeN dan Puslitbang PUPR, 2018).

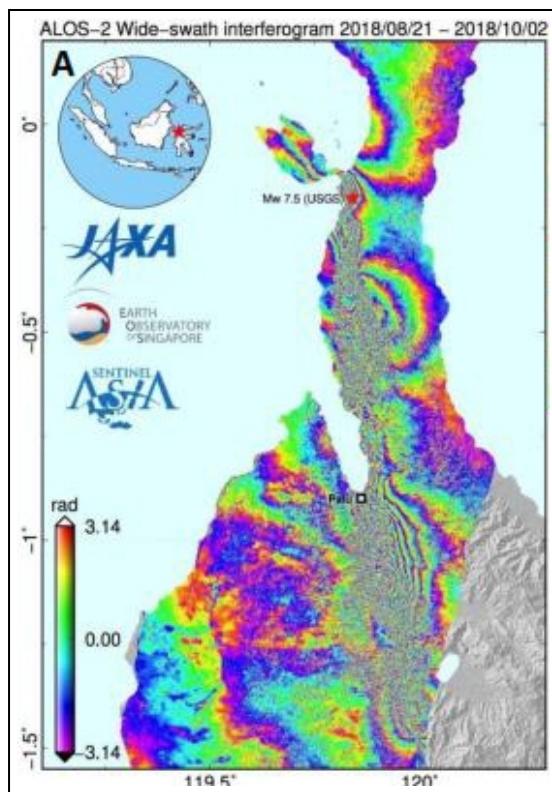


Gambar 5. Sebaran kerusakan berat akibat Gempa bumi Lombok. (PusGeN dan Puslitbang PUPR, 2018), sumber peta dasar: Peta Rupa Bumi Indonesia dari BIG (2018) dalam PusGeN dan Puslitbang PUPR (2018).

adanya perbedaan ketinggian yang cukup tinggi dengan sumber gempa bumi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 4(a), daerah yang berwarna pink merupakan daerah dengan potensi guncangan tanah tinggi di sekitar Lombok.

Gambar 6 menunjukkan deformasi di sekitar Sulawesi Tengah akibat gempa bumi. Sebaran deformasi tersebut relatif berarah utara selatan yang juga sesuai dengan hasil perhitungan

percepatan tanah pada Gambar 3 (c) sampai dengan (l). Untuk persamaan atenuasi Campbell (1981) dan Fukushima hanya memberikan keterangan sampai sejauh mana guncangan akibat gempa bumi dapat dirasakan. Pemilihan percepatan atenuasi percepatan tanah Campbell (1981) dan Idriss (2002) karena kedua fungsi tersebut memperhatikan faktor kedalaman dan mekanisme fokus untuk membedakan dengan



Gambar 6. Interferogram ALOS-2 yang menggambarkan deformasi di sekitar Sulawesi Tengah akibat Gempa bumi (Ratdomopurbo, 2018).

fungsi atenuasi Fukushima (1992) yang hanya memperhitungkan faktor magnitudo dan jarak antara *site* dan lokasi gempa bumi.

Perhitungan percepatan tanah akibat gempa bumi pada penelitian ini bersifat empiris berdasarkan pada jarak antara pusat gempa bumi-titik pengukuran (data topografi), besaran magnitudo dan mekanisme fokus, sehingga profil yang didapatkan hanya berupa gambaran umum mengenai efek gelombang seismik gempa bumi terhadap suatu lokasi yang diekspresikan dalam suatu nilai percepatan akibat gempa bumi. Perhitungan percepatan tanah ini akan menjadi lebih lengkap lagi jika didukung dengan data mikroseismik yang dapat menampilkan profil kecepatan gelombang S (V_s) pada kedalaman yang berbeda. Sementara itu, untuk penelitian ini perhitungan percepatan tanah dilakukan dengan katalog gempa yang mendasarkan parameternya pada jarak hiposenter dengan data topografi, sehingga faktor yang mempengaruhi adalah jarak dan ketinggian. Semakin jauh jarak suatu titik

koordinat dengan pusat gempa bumi menurut perhitungan berdasarkan persamaan percepatan guncangan tanah, maka rata-rata nilai percepatan tanahnya relatif kecil. Di bagian tengah Pulau Lombok, topografi lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya, jaraknya menjadi lebih jauh dari sumber gempa bumi sehingga energi gempa yang sampai di daerah tersebut sudah cenderung berkurang dan guncangan tanahnya menjadi lebih rendah dan kerusakan yang ditimbulkan tidak terlalu besar dibandingkan dengan sebelah utara Pulau Lombok yang lebih dekat dengan sumber gempa dan memiliki topografi yang lebih rendah. Kemudian di bagian selatan terdapat kenaikan nilai guncangan tanah yang dimungkinkan oleh penyebaran gelombang gempa bersifat membola mengakibatkan gelombang gempa bumi yang melalui sisi timur dan barat berlanjut ke sisi selatan sehingga guncangannya menjadi lebih tinggi.

Kerusakan yang ditimbulkan di bagian barat dan selatan tidak sebesar yang ada di sebelah utara Pulau Lombok karena jaraknya yang relatif jauh dari sumber gempa. Sementara itu, untuk di bagian timur, selain topografi yang rendah, jaraknya yang relatif dekat dengan sumber gempa mengakibatkan guncangan tanahnya relatif lebih tinggi.

Proses yang sama terjadi juga pada perhitungan di Palu, di mana nilai percepatan tanahnya cenderung mengecil pada daerah tinggian, tetapi dikarenakan variasi topografi yang tidak begitu signifikan di sekitar pusat gempa, ditambah dengan mekanisme fokus sumber gempa adalah sesar mendatar sehingga guncangan tanah yang dirasakan oleh daerah-daerah pusat gempa bumi hampir merata, sesuai dengan persamaan (3), mekanisme fokus sumber gempa dari sesar geser memiliki nilai F yaitu 0 dan memberikan hasil perhitungan percepatan guncangan tanah menjadi lebih rendah dibandingkan jenis sesar lainnya. Untuk persebaran nilai percepatan guncangan tanah, sama seperti pada kasus gempa bumi Lombok, akan cenderung rendah pada daerah yang jauh dari sumber gempa bumi. Faktor topografi yang cenderung tidak terlalu bervariasi menyebabkan persebaran nilai percepatan guncangan

tanah lebih merata di daerah sekitar sumber gempa bumi.

KESIMPULAN

Salah satu efek yang dirasakan oleh masyarakat akibat gempa bumi Lombok dan Palu adalah guncangan tanah. Dengan menggunakan persamaan atenuasi percepatan tanah, maka besaran guncangan tanah dari gempa bumi di suatu tempat yang berjarak tertentu dari lokasi pusat gempa bumi dapat diketahui. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa persebaran percepatan tanah yang tinggi berada di sebelah timur, barat dan selatan untuk Pulau Lombok dan hampir merata berarah utara selatan untuk Sulawesi Tengah dengan nilai rata-rata spektral guncangan tanah masing-masing berkisar 7 dan 6 g. Perbedaan ketinggian, besarnya magnitudo, jarak lokasi dari sumber gempa bumi dan jenis mekanisme fokus gempa bumi turut memberikan pengaruh bagi besaran nilai percepatan tanah, dan nilai percepatan tanah merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi tingkat kerusakan bangunan. Namun, tidak selalu daerah yang memiliki guncangan tanah yang tinggi memiliki kerusakan bangunan yang tinggi pula, tergantung juga dari kekuatan bangunan itu sendiri. Seperti yang terdapat dalam *Kajian Gempa Lombok* oleh Pusgen (2018) bahwa Lombok Utara merupakan daerah yang mengalami kerusakan terberat akibat gempa bumi. Secara umum daerah yang jauh dari sumber gempa bumi cenderung mengalami tingkat kerusakan yang lebih rendah menurut perhitungan empiris, tetapi dengan sifat fisis gelombang itu sendiri, di mana gelombang gempa yang tiba di suatu tempat juga dipengaruhi faktor media yang dilaluinya (*rigid* atau tidak *rigid*) yang turut mempengaruhi besar atau tidaknya tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh LPPM UPN “Veteran” Yogyakarta melalui program hibah peneliti-

an internal dasar. Untuk itu tim peneliti mengucapkan terima kasih atas segala dukungan dan fasilitas yang diberikan demi kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AHA Center. 2018. Earthquake in Lombok, Indonesia. The ASEAN Coordinating Center for Humanitarian Assistance in Disaster Management. Jakarta.
- AHA Center. 2018. Situation Update No.3 M 7.4 Earthquake and Tsunami Sulawesi, Indonesia. The ASEAN Coordinating Center for Humanitarian Assistance in Disaster Management. Jakarta.
- Campbell, Kenneth W. 2003. “Prediction of Strong Ground Motion Using the Hybrid Empirical Method and Its Use in the Development of Ground Motion (Attenuation) Relations in Eastern North America”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol 93 No 3 pp 1012-1033, June 2003.
- Emergency Plan of Action (EpoA) Indonesia: Lombok Earthquake. 2018. International Federation of Red Cross and Red Societies.
- Irsyam, Masyhur., Sri Widiyantoro., Danny Hilman Natawidjaja., Irwan Meilano., Ariska Rudyanto., Sri Hidayati., Wahyu Triyoso., Nuraini Rahma Hanifa., Didiek Djarwadi., Lutfi Faizal., dan Sunarjito. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa bumi Indonesia Tahun 2017*. Pusat Studi Gempa bumi Nasional Puslitbang PUPR.
- Irsyam, Masyhur., Nuraini Rahma Hanifa dan Didiek Djarwadi. 2018. *Kajian Rangkaian Gempa Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Pusat Studi Gempa bumi Nasional Puslitbang PUPR.
- Prawirodikromo, Widodo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa KeGempa bumian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Pusat Seismologi Teknik, Geofisika Potensial dan Tanda Waktu, BMKG. *Lay Out Pelayanan Informasi Teknologi Seismik*.

Putra, Rusnardi Rahmat., Junji Kinoyo., Yusuke Ono., Hari Ram Parajuli. 2012. Seismic Hazard Analysis for Indonesia. *Journal of Natural Disaster Science*, Vol 33 No 2, 2012, pp 59-70.

Tim PusGeN dan Puslitbang PUPR. 2018. Kajian Rangkaian Gempa bumi Lombok Provinsi

Nusa Tenggara Barat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian PUPR.

Ratdomopurbo, A. 2018. Gempa bumi-Tsunami Donggala-Palu : Geodinamika, Mekanisme dan Implikasi. Badan Geologi ESDM.