

Temporary Seismic Stations Installation and Building Damage Assessment of December 7th, 2016 Earthquake in Pidie Jaya, Aceh, Indonesia

Instalasi Stasiun Seismik Sementara dan Analisis Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Bumi 7 Desember 2016 di Pidie Jaya, Aceh, Indonesia

Zulfakriza Z.^{1*}, Andri D. Nugraha¹, M. Ridwan², Kadek P. Hendrawan³, Muksin Umar⁴, Muzli⁵, Irwandi⁴, Kemal Erbas⁶, Daryono⁵

¹Kelompok Keahlian Geofisika Global, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, Ganesa 10, 40132. Indonesia

²Puslitbang Perumahan dan Pemukiman, Kementrian PUPR, Bandung, Indonesia

³*Exploration Geophysics, Institute de physique du globe de Paris, France*

⁴Jurusan Fisika, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh Indonesia

⁵Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, Indonesia

⁶*Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, International Centre for Geothermal Research, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany*

*Email: zulfakriza@itb.ac.id

Submit 08-02-2018; Revised 21-02-2018; Accepted 25-02-2018

Abstract: *A significant Mw 6.5 earthquake occurred in Pidie Jaya, Aceh on December 7th, 2016. The event affected 104 people death and more than 1000 people suffered injuries due to the rubble of the building. Geologically, the region is composed by of Quaternary alluvial deposits. This is one of factor that amplification occurred in some area. On the other hand, an understanding of the source and mechanism of the earthquake needs to be done. A few days after the earthquake, we deployed 9 seismometers that covered the area of Pidie, Pidie Jaya and Bireuen. This experiment aims to record the aftershock and understanding of earthquake source and mechanism. In addition, we conducted building damage survey to know the pattern of distribution of building damage.*

Keywords: *Pidie Jaya Earthquake, Aftershock monitoring, Damage survey*

Abstrak: Kejadian gempa bumi Mw 6.5 di Kabupaten Pidie Jaya, 7 Desember 2016 mengakibatkan korban jiwa mencapai 104 orang dan lebih dari 1000 orang mengalami luka akibat tertimpa reruntuhan bangunan. Secara geologi, wilayah ini tersusun dari endapan aluvial yang berumur kuartar dengan kekerasan dan ketebalan yang bervariasi sehingga menyebabkan terjadinya amplifikasi yang sangat beragam. Di sisi lain, pemahaman tentang sumber dan mekanisme Gempa bumi ini menjadi salah satu hal yang perlu dilakukan. Untuk itu, beberapa hari setelah kejadian Gempa bumi, gabungan tim yang terdiri dari ITB, BMKG, UNSYIAH dan PUSGEN melakukan monitoring gempa ikutan dengan memasang 9 seismometer yang tersebar di Kabupaten Pidie Jaya, Pidie, dan Bireuen. Tujuan dari instalasi instrumen tersebut adalah untuk mengetahui

pola sebaran gempa ikutan setelah gempa utama pada 7 Desember 2016. Selain itu, pendataan dan pengklasifikasian kerusakan bangunan dilakukan untuk melihat pola sebaran kerusakan bangunan.

Katakunci: Gempa bumi Pidie Jaya, Pemantauan Gempa Ikutan, Survei kerusakan

1 PENDAHULUAN

Gempa bumi di Pidie Jaya, Aceh Indonesia terjadi pada 7 Desember 2016 pukul 05:03 WIB (22:03 waktu UTC) saat kebanyakan masyarakat sedang tertidur atau sebagian sedang mempersiapkan shalat subuh. Lokasi pusat Gempa bumi terjadi pada koordinat 5.283 N dan 96.168 E, sekitar 164 km arah baratdaya dari Banda Aceh sebagai ibukota provinsi Aceh. Gempa bumi ini dilaporkan terjadi pada magnitudo 6.5 dengan kedalaman 13 km (USGS), tergolong sebagai gempa bumi dangkal dan merusak. Mekanisme fokus gempa ini menunjukkan strike-slip dan sumbernya adalah sesar aktif. Intensitas guncangan dalam skala MMI antara VII - VIII di Pidie Jaya (Supendi dkk., 2016). Sekitar 104 jiwa meninggal dan lebih dari 1000 jiwa terluka akibat tertimpa reruntuhan bangunan.

Daerah yang terkena dampak berada cukup dekat dengan episenter gempa bumi yaitu berjarak 5-15 km, sehingga menyebabkan terjadinya banyak kerusakan bangunan dengan tingkat kerusakan yang berbeda-beda. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya variasi tingkat kerusakan selain kondisi site effect, juga pengaruh kondisi struktur bangunan. Dari beberapa temuan dilapangan terlihat beberapa bangunan yang mengalami keruntuhan atau rusak berat adalah akibat kondisinya yang tidak memenuhi persyaratan

teknis. Selain akibat guncangan gempa bumi, pada beberapa lokasi juga ditemukan kerusakan bangunan akibat posisi bangunan yang berdatan dengan *surface rupture*.

Studi sebelumnya oleh Supendi dkk. (2016) telah melakukan proses ulang terhadap semua data rekaman gempa bumi dari pengamatan stasiun seismik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Sejumlah 108 hiposenter gempa bumi yang telah direlokasi setelah gempa bumi utama di Pidie Jaya, Aceh. Diantara gempa bumi ikutan yang terekam pada jaringan pengamatan BMKG, terdapat satu gempa bumi dengan magnitudo 5.3 yang terjadi pada 11 Desember 2016, dan kedalaman sumbernya adalah 20 km.

Keberadaan sesar Samalanga-Sipopok (Genrich dkk., 2000) dan sesar Geureuggang (Barber dkk., 2005) menjadi dugaan awal sumber pemicu gempa bumi Pidie Jaya 2016. Akan tetapi dugaan tersebut masih dalam perdebatan. Penempatan jaringan seismometer yang rapat dapat memberikan pemutakhiran informasi kejadian dan sebaran gempa bumi ikutan. Pola sebaran gempa bumi ikutan dapat memberikan gambaran tentang sumber pemicu gempa bumi utama dan mekanisme kejadiannya.

Beberapa hari setelah gempa utama terjadi, tepatnya pada tanggal 13 Desember 2016, survey lapangan untuk membuat jaringan sementara seismometer dilakukan. Secara bersama-sama tim terdiri dari gabungan antara beberapa instansi di Indonesia (Institut Teknologi Bandung (ITB), Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Universitas Syiah Kuala (UNSYIAH) Aceh, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Aceh) dan Jerman (*GFZ Helmholtz Centre Potsdam*) melakukan instalasi 9 seismometer (Gambar 1) di sekitar Pidie, Pidie Jaya and Samalanga. Jarak antara setiap stasiun bervariasi, yaitu antara 5 - 10 km.

Makalah ini menjelaskan tentang pemantauan respons seismik dan hasil awal dari Gempa bumi 7 Desember 2016 di Pidie Jaya, Aceh. Tujuannya untuk memberikan gambaran dan pengalaman pemantauan gempa ikutan dan dapat diterapkan pada lokasi lain yang pernah terjadi gempa dengan kekuatan yang signifikan. Selain itu pemantauan kerusakan bangunan di lokasi Gempa bumi sesuai dengan standar survei kerusakan bangunan yang berlaku pada Pusat Penelitian Perumahan dan Pemukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Hal seperti ini pernah dilakukan pada Gempa Athena 7 September 2009 (Tselentis dan Zahrandnik, 2000), 2 September 2016 *Gyeongju earthquakes* (Kwang-Hee Kim dkk., 2016) dan gempa bumi swarm di Halmahera Barat Desember 2015 (Gunawan dkk., 2016).

2 TATANAN TEKTONIK REGIONAL

Aktivitas tumbukan pada zona subduksi di sisi barat daya mempengaruhi tatanan tektonik di Sumatra. Hamilton (1979) menjelaskan bahwa zona subduksi di barat daya merupakan bagian dari sabuk konvergen panjang yang membentang mulai dari bagian depan Himalaya menerus ke selatan melewati Myanmar terus berlanjut ke Kepulauan Andaman, Nicobar, Sumatra sampai ke selatan Jawa. Untuk palung (trench) bagian barat daya Sumatra dan selatan

Jawa terbentuk karena adanya pengaruh dari pergerakan dari lempeng Australia ke Eurasia (McCaffrey 2009).

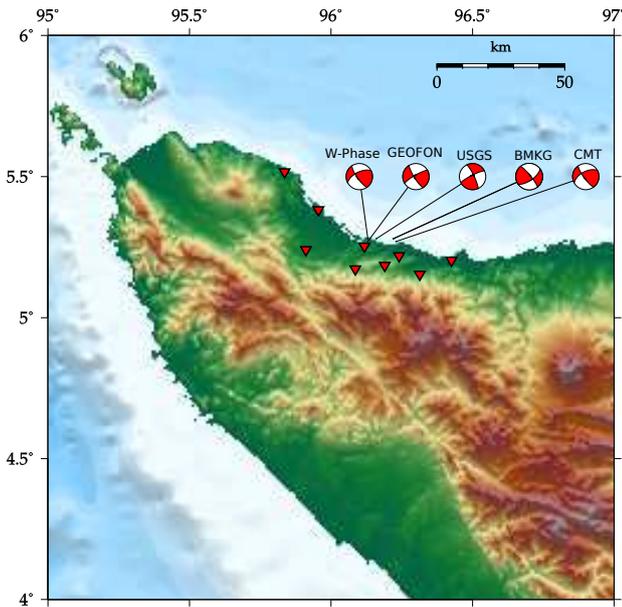
Keberadaan jajaran pegunungan Bukit Barisan dengan beberapa busur gunung api aktif di sepanjang Sumatra merupakan pengaruh subduksi di sisi barat daya Sumatra. Selain itu, terdapatnya zona geser di Sumatra yang merupakan Zona Sesar Sumatra berada di antara deretan Pegunungan Bukit Barisan (Genrich dkk., 2000). Zona Sesar Sumatra membentang sepanjang 1900 km mulai dari Selat Sunda di bagian selatan sampai ke Laut Andaman di bagian utara yang terbagi dalam 19 segmen sesar (Sieh dan Natawidjaja, 2000). Berdasarkan pengamatan *Global Positioning System (GPS)* yang telah dilakukan memberikan gambaran bahwa laju geser yang beragam untuk beberapa bagian dari Zona Sesar Sumatra. Ito dkk. (2012) memberikan penjelasan bahwa laju geser untuk bagian utara dari Zona Sesar Sumatra adalah 16-20 mm/thn, dan untuk bagian tengah 23 mm/thn (Genrich dkk., 2000). Sedangkan untuk bagian selatan adalah 6 mm/thn berdasarkan data yang diperoleh dari *Satellite Pour L Observation de la Terre (SPOT)* (Bellier dan Sebrier, 1995).

Secara geologi dan geofisika membuktikan bahwa Zona Sesar Sumatra merupakan zona seismik aktif dengan pola pergerakan sesar adalah sesar geser manganan (*right-lateral strike-slip fault*). Berdasarkan data katalog Gempa bumi, banyak Gempa bumi dangkal dengan mekanisme sesar geser terjadi pada Zona Sesar Sumatra. Hal tersebut memberikan indikasi bahwa aktivitas seismisitas pada Zona Sesar Sumatra tinggi, dan beberapa gempa bumi dengan magnitudo besar dan merusak pernah terjadi pada zona ini. Hurukawa dkk. (2014) memberikan catatan tentang gempa besar yang terjadi pada tahun 1892 dan 1943. Dua event terjadi masing-masing memiliki kekuatan Ms 7.6 dan Ms 7.3. Dua gempa bumi tersebut merupakan hasil dari aktivitas seismik pada segmen Sumani yang merupakan bagian dari Zona Sesar Sumatra (Sieh dan Natawidjaja, 2000).

Pada bagian utara dari Zona Sesar Sumatra (Aceh), Sieh dan Natawidjaja, (2000) mencatat empat segmen utama, yaitu Renun (2.0° N - 3.5° N) pernah terjadi gempa bumi tahun 1916, 1921 dan 1936, Tripa (3.4° N - 4.4° N) pernah terjadi gempa bumi tahun 1990 dan 1997, Aceh (4.4° N - 5.4° N) tidak ada catatan kejadian gempa bumi dan Seuluemum (5.0° N - 5.9° N) pernah terjadi gempa bumi tahun 1964. Berdasarkan hasil terbaru yang dikeluarkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (2017) memberikan segmentasi sesar di bagian utara dari Zona Sesar Sumatra (Aceh) secara rinci, yaitu Segmen Oreng, Lhokseumawe, Nicobar, Seulumum utara, Seulumum selatan, Aceh bagian utara, Aceh bagian tengah, Aceh bagian selatan, Lok Tawar, Pesangan, Tripa-1 Thrust, Tripa-2, Tripa-3, Tripa-4, Tripa-5, Batee A, Batee B, Batee C, Renun A, Renun B, dan Renun C.

3 DATA GEMPA UTAMA

Parameter gempa utama seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 merupakan parameter mekanisme fokus Gempa Pidie Jaya dari BMKG, GEOFON, W-Phase, USGS dan Harvard CMT (Gambar 1). Supendi dkk. (2017) menjelaskan bahwa solusi dari *fault-plane* dari Gempa Pidie Jaya 2016 menunjukkan mekanisme sumbernya adalah *lateral strike*



Gambar 1. Peta topografi wilayah Aceh, termasuk di dalamnya kawasan Pidie Jaya yang terdampak gempa bumi 7 Desember 2016. Pola mekanime fokus ditunjukkan dengan lingkaran yang mengindikasikan sesar mendatar manganan. Sebaran sembilan titik stasiun seismometer ditandai dengan segitiga merah yang diinstal mulai dari 13 Desember 2016 - 14 Januari 2017.

slip yang relatif miring (*oblique*) dengan arah *strike*-nya baratlaut - tenggara.

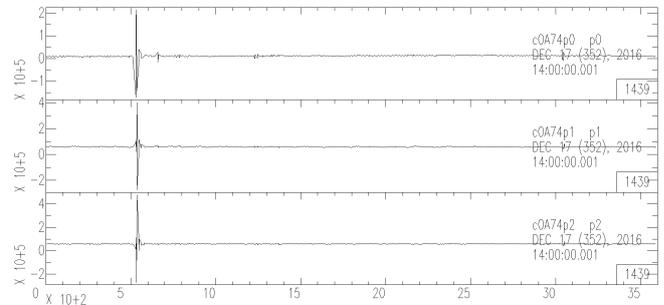
4 JARINGAN SEISMOMETER SEMENTARA

Jaringan seismometer sementara yang dipasang beberapa hari setelah Gempa bumi 7 Desember 2016 di Kabupaten Pidie Jaya terdiri dari 9 seismometer (Gambar 1). Setiap unit seismometer yang terpasang dilengkapi dengan sensor Broadband Nanometrics Trilium Compact dengan 3 komponen sensor, resonansi di atas 200 Hz, dan kemampuan respon pada kecepatan permukaan dari 120 detik ke 100 Hz. Untuk data logger menggunakan DATA-CUBE3 dengan 3 channel dan 24-bit seismic data recorder, dengan internal dan eksternal antena GPS. Semua instrumen ditempatkan di luar ruangan yang terkubur dibawah permukaan tanah pada kedalaman antara 0.8 - 1.0 meter yang terlindung dengan kotak plastik untuk recorder dan aki, sedangkan untuk sensor dilindungi oleh timba plastik (Gambar 2).

Instrumen dioperasikan hidup secara terus-menerus merekam pada rentang frekuensi 100 Hz. Rekaman data tersimpan dalam memori yang terdapat pada recorder DATA-CUBE3 di unduh secara berkala setiap 15 hari. Koordinat dan elevasi stasiun seismometer diperoleh dari pengukuran GPS. Penempatan seismometer memperhatikan lingkungan yang aman dan jauh dari aktivitas masyarakat dan jalan raya. Hal ini dilakukan untuk mengurangi gangguan yang mengganggu proses perekaman. Data waveform yang tidak terpengaruhi gangguan secara signifikan dapat memberikan kejelasan pada saat pemisahan waktu kedatangan gelombang P dan S. Pemisahan waktu datang gelombang P dan S merupakan proses awal untuk penentuan lokasi sebaran gempa ikutan. Salah satu waveform hasil rekaman gempa



Gambar 2. Instalasi seismometer yang dilakukan pada jaringan pengamatan sementara.



Gambar 3. Contoh waveform event yang terekam pada tanggal 17 Desember 2016. Event terlihat dengan jelas dan memudahkan untuk melakukan penentuan waktu datang gelombang P dan S.

diperlihatkan pada Gambar 3. Waktu datang gelombang P dan gelombang S terlihat dengan baik.

5 SURVEI KERUSAKAN BANGUNAN

Survei kerusakan bangunan dilakukan sehari setelah kejadian Gempa bumi tanggal 7 Desember 2016 di Kab. Pidie Jaya, Aceh. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data kerusakan bangunan yang sebenarnya dikarenakan Gempa bumi. Kegiatan survey kerusakan bangunan merupakan bagian dari kajian bahaya kegempaan. Spence dkk. (1992) menjelaskan setidaknya ada tiga hal yang harus dilakukan untuk analisis risiko kegempaan, yaitu kajian bahaya kegempaan (*seismic hazard assessment*), inventarisasi dan karakterisasi kondisi bangunan rusak bagian dari elemen risiko dan kajian kerentanan dari dari setiap elemen risiko.

Kategori kerusakan bangunan yang dilakukan mengacu pada klasifikasi Coburn (1990) membagi dalam empat pola kerusakan bangunan, yaitu runtuh (*multiple fracture*), rusak berat (*roof collapse*), rusak sedang (*wall separation*) dan rusak ringan (*cracks in walls*). Contoh kerusakan bangunan yang ditemukan dilapangan dengan empat kategori kerusakan seperti yang disebutkan sebelumnya (Gambar 4). Setiap klasifikasi kerusakan diberikan bobot dari rusak ringan sampai runtuh dengan pembobotan 1 - 4. Sebaran kerusakan bangunan seperti yang diperlihatkan pada Gam-

Tabel 1. Parameter mekanisme fokus dari gempa utama

	Lat. (N)	Lon (E)	Depth (km)	Moment (Nm)	Strike	Dip	Rake
BMKG	5.27	96.23	12	6.5	NP1 144 NP2 241	NP1 78 NP2 59	NP1 148 NP2 13
GEOFON standard (GFZ, 2017)	5.27	96.13	16	6.5	NP1 148 NP2 240	NP1 79 NP2 80	NP1 170 NP2 11
W-Phase (GFZ, 2017)	5.28	96.13	12	6.5	NP1 145 NP2 243	NP1 76 NP2 62	NP1 151 NP2 16
USGS (USGS, 2017)	5.28	96.16	13	6.5	NP1 243 NP2 147	NP1 81 NP2 57	NP1 33 NP2 170
Harvard CMT (CMT, 2017)	5.28	96.22	17.5	6.6	NP1 55 NP2 149	NP1 66 NP2 81	NP1 10 NP2 -156



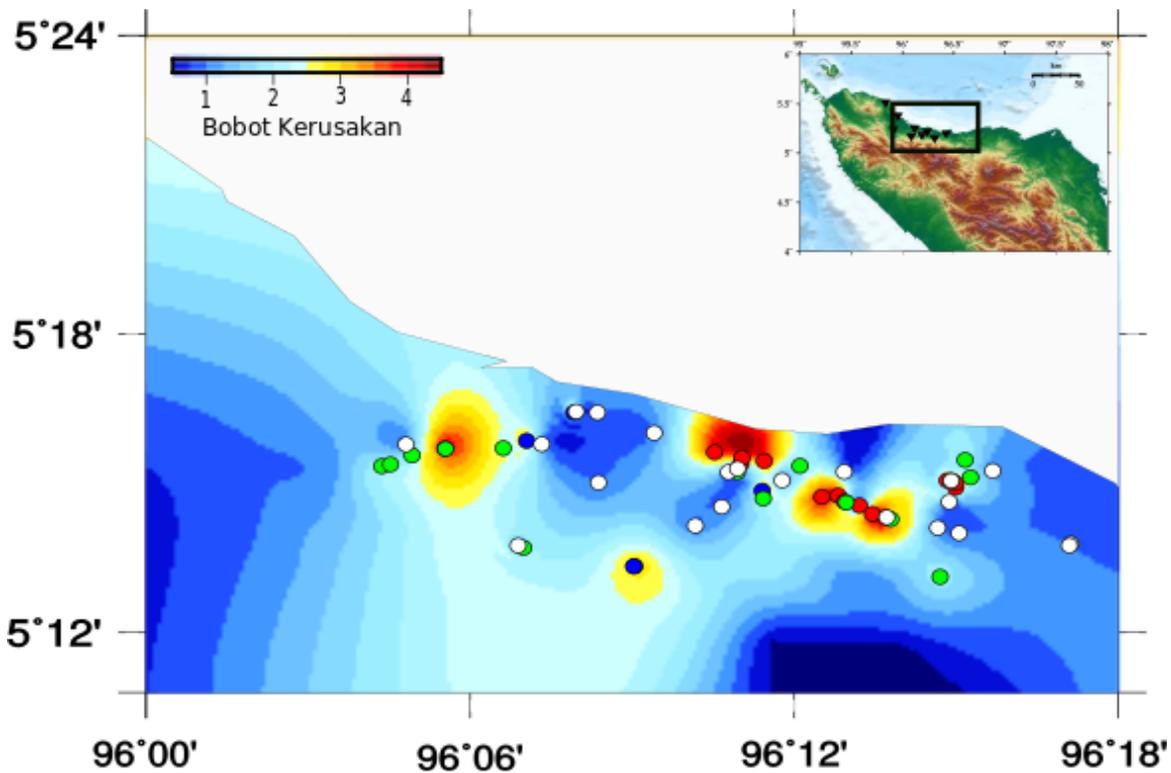
Gambar 4. Contoh kerusakan bangunan yang ditemukan dilokasi Gempa Pidie Jaya 2016. A. Rusak ringan, B. Rusak sedang, C. Rusak berat dan D. Runtuh.

bar 5, gradasi warna memberikan definisi tingkat kerusakan bangunan.

Distribusi kerusakan bangunan tersebar di Kabupaten Pidie Jaya, Pidie dan Bireuen. Dominan kerusakan bangunan di wilayah yang berdekatan dengan pantai, terutama di Kecamatan Meurudu. Wilayah tersebut merupakan yang sangat dekat dengan lokasi Gempa bumi. Selain itu, secara geologi wilayah pesisir pantai Pidie Jaya tersusun dari endapan aluvial yang terdiri dari batu kerikil, pasir dan lumpur. Batuan pasir diperkirakan berumur Holosen. Sedangkan di

bagian timur Kabupaten Pidie Jaya terdapat batuan gunungapi Ulim yang berumur Plitosen Awal. Batuan tersebut tersusun dari breksi andesit, aglomerat, tufa dan batu pasir. Berdasarkan peta geologi lembar Banda Aceh dan lembar Lhokseumawe, di bawah endapan aluvial wilayah pesisir pantai Pidie Jaya terdapat Formasi Siap yang berumur Pliosen dengan susunan konglomerat, sedimen dari material gunungapi, pasir gampingan dan batu lumpur.

Susunan geologi yang dominan aluvial yang berumur relatif muda (kuarter), sehingga pada wilayah ini terjadi



Gambar 5. Peta kontur kerusakan bangunan akibat gempa bumi M6.5 pada 7 Desember 2016 di Kabupaten Pidie Jaya, Aceh. Kerusakan bangunan diklasifikasikan dalam 4 kategori, yaitu runtuh (4) ditandai dengan linkarang merah, rusak berat (3) ditandai dengan linkarang biru, rusak sedang (2) ditandai dengan linkarang hijau dan rusak ringan (1) ditandai dengan linkarang putih. Gradasi warna menunjukkan tingkat kerusakan bangunan, warna merah mengindikasikan bangunan runtuh dan rusak berat. Lokasi kawasan Pidie Jaya berada pada kotak hitam yang terlihat pada peta Aceh.

likuifaksi yang dapat dijumpai beberapa tempat dan memperparah tingkat kerusakan bangunan. Solikhin dkk. (2017) memperkirakan faktor amplifikasi berdasarkan pengamatan mikrotremor di wilayah Pidie Jaya adalah antara 2 hingga 4 kali. Amplifikasi yang terjadi di lokasi Gempa bumi memberikan dampak guncangan yang signifikan, sehingga mengakibatkan kegagalan pada bangunan.

Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3, warna merah memberikan gambaran tentang lokasi kerusakan bangunan yang parah. Lokasi merah pada wilayah yang dekat pantai, kerusakan bangunan dipengaruhi posisi yang berdekatan dengan sumber gempa, kondisi tanah yang terdiri dari endapan aluvial dan diperparah dengan struktur bangunan yang belum memiliki standar aman dari guncangan Gempa bumi. Sedangkan kerusakan bangunan pada wilayah yang jauh dari wilayah pesisir dipengaruhi oleh kualitas struktur bangunan.

6 KESIMPULAN

Pemantauan Gempa bumi ikutan (*aftershock*) dan survey kerusakan bangunan merupakan hal yang penting dilakukan. Informasi dari rekaman seismometer dapat memberikan pemahaman baru terkait dengan sumber Gempa bumi berdasarkan pola sebaran gempa ikutan. Penentuan lokasi hiposenter gampabumi dengan melakukan proses pemilihan waktu tiba gelombang P dan gelombang S adalah langkah selanjutnya yang dilakukan untuk mendapatkan ko-

ordinat dan kedalaman setiap event. Berdasarkan pola sebaran kerusakan bangunan dari hasil survey memberikan pemahaman tentang faktor dominan yang mengakibatkan terjadinya kerusakan bangunan. Pada lokasi yang secara geologi terdiri dari endapan aluvial, dominan kerusakan bangunan dikarenakan adanya pengaruh amplifikasi selain kondisi struktur bangunan yang belum memiliki standar aman dari guncangan Gempa bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Pusat Studi Gempa Nasional (PusGeN) yang telah mendukung kegiatan survei pemantauan gempa ikutan dan survei kerusakan bangunan. Peta yang dibuat dalam malakah ini menggunakan aplikasi *Generic Mapping Tools* (Wessel and Smith, 1998)

DAFTAR PUSTAKA

- Bellier, O., dan M. Sebrier. 1995. *Is the slip rate variation on the Great Sumatran Fault accommodated by fore-arc stretching*, Geophysics Research Letter 22, no. 15, 1969-1972.
- Baber, A.J., Crow M.J., dan Milson J.S., 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*, GEOLOGICAL SOCIETY MEMOIRS NO. 31, The Geological Society London
- Coburn, A.W. 1990. *The use of intensity in earthquake vulnerability assessment*. Proceed. Of the 9 ECEE, Vol A, Moscow

- Genrich, J.F., Bock, Y., McCaffrey, R., Prawirodirjo, L., Stevens, C.W., Puntodewo, S.S.O., Subarya, C., dan Wdowinski, S., 2000. *Distribution of slip at the northern Sumatran fault system*. Journal of Geophysical Research 105, 28,32728,341
- Gunawan, E., Ghosalba, F., Syauqi, Widiastomo, Y., Meilano, I., Hanifa, N. R., Daryono, dan Hidayati, S. (2016). *Field Investigation of the November to December 2015 Earthquake Swarm in West Halmahera, Indonesia*. Geotechnical and Geological Engineering, 18
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesia Region*, U.S. Geological Survey. Prof. Pap., 1078.
- Hurukawa N, Wulandari BR, Kasahara M, 2014. *Earthquake history of the Sumatran fault, Indonesia, since 1892, derived from relocation of large earthquakes*. Bulletin Seismological Society. Am 104:17501762
- Ito, T., E. Gunawan, F. Kimata, T. Tabei, M. Simons, I. Meilano, A. Agustan, Y. Ohta, I. Nurdin, dan D. Sugiyanto, 2012. *Isolating along-strike variations in the depth extent of shallow creep and fault locking on the northern Great Sumatran Fault*, Journal Geophysics Research. 117, no. B06409, doi: 10.1029/2011JB008940.
- Kwang-Hee Kim, Tae-Seob Kang, Junkee Rhie, YoungHee Kim, Yongcheol Park, Su Young Kang, Minhui Han, Jeongmu Kim, dan Jechan Park, 2016. *The 12 September 2016: Gyeongju earthquakes: Temporary seismic network for monitoring aftershocks*, Geosciences Journal, Vol. 20, No. 6, p. 753-757
- McCaffrey, R., 2009. *The tectonic framework of the Sumatran subduction zone*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 37, 345-346
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Puslitbang Perumahan dan Permukiman Balitbang Kementerian PUPR, ISBN 978-602-5489-01-3
- R.J.S. Spence, A. W. Coburn dan A. Pomonis, 1992. *Correlation of ground motion with building damage: The definition of a new damage-based seismic intensity scale*, Earthquake Engineering, 9054100605.
- Sieh, K., dan D. Natawidjaja. 2000. *Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia*, Journal Geophysics Research, 105, no. B12, 28,29528,326.
- Solikhin, A. Pandu A. Minarno, Merry Cristina Natalia, Sri Hidayati, Kristianto, Juanda. 2017, Gempa Bumi Pidie Jaya 7 Desember 2016: Observasi Skala Intensitas Kegempaan dan Kondisi Geologi Wilayah Bencana, Laporan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Spence RJS, Coburn AW, Pomonis A. 1992. *Correlation of ground motion with building damage: the definition of a new damage based seismic intensity scale*. In: Proceedings of the 10th World Conference Of Earthquake Engineering. Rotterdam: AA Balkema. p. 551
- Supendi, P., Nugraha, A.D., Wijaya, T.A., 2017. *Relocation and Focal Mechanism of Aftershocks Pidie Jaya Earthquake (Mw6.5) Dec 7th, 2016 using BMKG Network*, Jurnal Geofisika, Vol. 15.1. Pp. 17-20
- Tselentis, G. A., dan Zahrandnik, J., 2000. *Aftershock monitoring of the Athens Earthquake of 7 September 1999*, Seismological Research Letter, 71, No. 3, 330337.
- Wessel, P., dan Smith, W. H. F., 1998. *New, Improved Version of Generic Mapping Tools Released*. EOS Trans., AGU, 79 (47), p. 579.
- GFZ, 2017. <https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/event.php?id=gfz2016xyws>, diakses pada 10 Desember 2017.
- USGS, 2017. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us10007ghmdyfi>, diakses pada 10 Desember 2017.
- Harvard CMT, 2017. <http://www.globalcmt.org/cgi-bin/globalcmt-cgi-bin/CMT5/>, diakses pada 10 Desember 2017.