

ISBN 978-602-5489-00-6

KAJIAN GEMPA PIDIE JAYA PROVINSI ACEH INDONESIA

7 Desember 2016 (M6.5)

Kapelma
da Aceh
Indrapura
Seulimeun
Lamno
Quernanproh

Disusun oleh :

Tim Pusat Studi Gempa Nasional
Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Kerjasama :





KAJIAN GEMPA PIDIE JAYA PROVINSI ACEH INDONESIA 7 DESEMBER 2016 (M6.5)

Disusun Oleh : Tim Pusat Studi Gempa Nasional

EDITOR

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D

Dr. Nuraini Rahma Hanifa

Dr. Didiek Djarwadi



Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat



**KAJIAN
GEMPA PIDIE JAYA
PROVINSI ACEH INDONESIA
7 DESEMBER 2016 (M6.5)**

PENYUSUN
Tim Pusat Studi Gempa Nasional

ISBN : 978-602-5489-00-6

EDITOR
Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D
Dr. Nuraini Rahma Hanifa
Dr. Didiek Djarwadi

Penerbit :
Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jalan Panyaungan Cileunyi Wetan Kabupaten Bandung 40393
Telp : 022 7798393
Fax : 022 7798392

Cetakan Pertama, Juni 2017

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotocopy, atau memperbanyak sebagian atau seluruhnya isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit



KATA PENGANTAR

Setelah gempa berkekuatan 9,1 magnitudo dengan gelombang raksasa tsunami yang meluluhlantakkan kota Banda Aceh, Provinsi Aceh, pada tanggal 26 Desember 2004; pada Rabu, 7 Desember 2016, pukul 05.03.36 WIB, kembali terjadi gempa berkekuatan 6,5 magnitudo mengguncang kawasan Kabupaten Pidie Jaya, Provinsi Aceh. Gempa ini telah mengakibatkan korban jiwa yang tidak sedikit. Terdapat korban yang menderita luka-luka ringan sampai dengan korban meninggal. Gempa ini pun mengakibatkan kerusakan infrastruktur berupa bangunan yang mengalami rusak ringan hingga runtuh.

Sesaat setelah gempa tersebut terjadi, diperlukan aksi tanggap darurat untuk menanggulangi bencana yang menyangkut pengkajian secara cepat dan tepat terhadap lokasi, kerusakan, dan sumber daya. Diperlukan juga penentuan status keadaan darurat bencana; penyelamatan dan evakuasi masyarakat terkena bencana; pemenuhan kebutuhan dasar; perlindungan terhadap kelompok rentan; dan pemulihan prasarana dan sarana vital dengan segera. Oleh karena itu, diperlukan kajian dampak bencana gempa melalui survei lapangan yang mencakup kajian sumber gempa (baik gempa utama maupun gempa susulan). Selain itu, kajian dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa terhadap infrastruktur berserta sarana dan prasarana, dan lingkungannya juga penting dilakukan. Survei lapangan dilakukan untuk mendapatkan data dan informasi yang cepat, lengkap, dan akurat. Korban mengalami luka-luka maupun yang meninggal umumnya akibat tertimpa reruntuhan bangunan rumah dan gedung. Identifikasi kerusakan bangunan menjadi penting agar bila terjadi gempa pada masa yang akan datang, korban dan kerusakan infrastruktur dapat diminimalisasi dengan membangun bangunan yang tahan gempa.

Survei lapangan ini telah melibatkan berbagai tenaga ahli dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Ristek dan Pendidikan Tinggi, Kementerian Perhubungan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Badan Informasi Geospasial, Institut Teknologi Bandung, dan unsur asosiasi/ praktisi/ perusahaan swasta. Kajian lengkap terhadap hasil survei tersebut disampaikan pada buku *Kajian Gempa Pidie Jaya Provinsi Aceh Indonesia 7 Desember 2016 (M 6,5)*.

Semoga segala upaya tim pelaksana survei dan tim penyusun laporan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya dalam menghadapi langkah pemulihan terhadap dampak bencana. Atas perhatian dan kerja sama semua pihak diucapkan terima kasih.

Kepala,
Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan
permukiman,
Badan Penelitian dan Pengembangan,
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Arief Sabaruddin
19651130 199003 1 001



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



TIM PENYUSUN

PEMBINA

Dr. Ir. Danis H. Sumadilaga, M.Eng, SC

PENGARAH

Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES
Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D
Prof. Dr. Sri Widiyantoro
Dr. Danny Hilman Natawidjaja
Dr. Irwan Meilano
Dr. Sri Hidayati
Ariska Rudiyanto, M.Sc., M.Phil
Dr. Didiek Djarwadi

EDITOR

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D
Dr. Nuraini Rahma Hanifa
Dr. Didiek Djarwadi

KONTRIBUTOR PuSGeN

Institut Teknologi Bandung (ITB)

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D
Prof. Dr. Sri Widiyantoro
Prof. Dr. Nanang T. Puspito
Prof. Dr. Hasanuddin Z. Abidin
Dr. Irwan Meilano
Dr. Andri Dian Nugraha
Dr. Endra Gunawan
Dr. M Asrurrifak
Dr. Muhammad Riyansyah
Dr. Nuraini Rahma Hanifa
Dr. Wahyu Triyoso
Alwidya Angga Safitri, S.T., M.T.
Bagoes Dwi Ramdhani, S.T.
Kadek Hendrawan Palgunadi, S.T.
Putra Maulida, S.T., M.T.
Refi Rizqi Ramadian, S.T.
Rio Raharja, S.T., M.T.
Riskiray Nugroho, S.T.
Shindy Rosalia, S.T.
Suchi Rahmadhani, S.T.



Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian PUPR

Ir. Sutaji Yuwasdiki, Dipl. E. Eng
Dr. Ir. Mohamad Ridwan
Yoga Megantara, S.T.
Muhammad Rusli, S.T., MDM.
Azhar Pangarso, S.T., M.Sc.Eng.

Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Drs. Subandriyo, M.Si.
Dr. Sri Hidayati
Dr. Supartoyo
Amalfi Omang, S.Si., M.Phil
Haunan Afif, S.Si.
Dr. Akhmad Solikhin
Ir. Kristianto, M.Si.
Pandu Adi Minarno, S.T.
Merry Cristina Natalia, S.T.
Gangsar Turjono
Juanda

Pusat Penelitian Geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)

Dr. Danny Hilman Natawidjaja
Dr. Mudrikh Daryono

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

Dr. Daryono
Dr. Wandono
Ariska Rudyanto, M.Sc., M.Phil
Iman Fatchurrahman, M.DM
Sigit Pramono, S.Si., M.Si.
Dr. rer. nat. Muzli
Fauzi, M.DM
Pepen Supendi, S.T., M.Si.
Angga S. Prayogo, M.Si.
Ardian Yudhi Octantyo
Oriza Sativa, S.T.
Lewi Ristiyono, S.Kom., M.Sc.
Furqon D. Raharjo, S.Si.
R.B. Yanuar Hary W.H, Ah.MG
Rasmid, S.Si., M.Si.
Rilza Nur Akbar, S.T.
Tommy Ardiyansyah



Badan Informasi Geospasial (BIG)

Prof. Dr. Hasanuddin Z. Abidin
Susilo, S.T., M.T.
Ayu Nur Safi'I, S.T.
Yustisi Ardhitasari Lumban Gaol, S.T.

Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Dr. Agustan
Dr. Albertus Sulaiman

PT Pama Persada

Dr. Didiek Djawardi

Dinas Pekerjaan Umum Pidie Jaya (PU Pidie Jaya)

Amir Hamzah Isa, S.T., M.T.

Badan Pertanahan Nasional Kabupaten Pidie (BPN Pidie Jaya)

Nasruddin, A.Ptnh

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)

Andri Cipto Utomo, S.Sos.

Universitas Syiah Kuala, Aceh (UNSYIAH)

Prof.Dr. Ir. Munirwansyah, M.Sc.
Dr. Muksin Umar, S.Si.,M.Si.,M.Phil.

Universitas Gadjah Mada

Dr. Gayatri Indah Marliyani, S.T., M.Sc.

Kesekertariatan

Ir. Lutfi Faizal
Sunarjito, S.T.,M.T.
Adhi Yudha Mulia, S.T., Dipl.E.Eng., MDM.



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
TIM PENYUSUN	iii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
1. Pendahuluan.....	1
2. Tektonik Aktif di Aceh	5
3. Deskripsi Gempa Pidie 7 Desember 2016	7
3.1 Parameter Gempa.....	7
3.2 <i>Timeline</i> Gempa	8
3.3 Peta Seismisitas Aceh	9
3.4 Sejarah Gempa Merusak Di Sekitar Lokasi Gempa Utama	10
3.5 Mekanisme Gempa Aceh 7 Desember 2016	13
3.6 Gempa Susulan	13
3.7 Peluruhan Gempa Susulan	19
3.8 Dampak Gempa	20
4. Tinjauan Seismologi mengenai Gempa Pidie 2016	23
4.1 <i>Repicking Mainshock dan Aftershock</i>	24
4.2 Penentuan Mekanisme Fokus Gempa Pidie-Aceh M_w 6.5	29
4.3 Relokasi data BMKG tanggal 7-19 Desember 2016	31
4.4 Rangkuman	33
5. Data <i>Ground Motion</i>	35
5.1 Rekaman Akselerograf	35
6. Observasi Deformasi Permukaan Tanah: Pergeseran Tanah dan Indikasi Rekahan Sesar di Permukaan	41
6.1 Observasi di Panteraja	43
6.2 Observasi di Kuta Pangwa	46
6.3 Observasi di Simpang Pangwa	49
6.4 Observasi di Pasar Ikan Pangwa	51
6.5 Ringkasan	58
7. Observasi Geodetik dan Pemodelan Deformasi Gempa Pidie Jaya 2016	61
7.1 Update tektonik sumatra dari laju regangan (strain) secara geodetik	61
7.2 Kondisi deformasi pasca gempa terkini di wilayah Aceh	63
7.3 Pengamatan INSAR	65
7.4 Pemodelan deformasi koseismik gempa	67
7.5 Pengamatan GPS Kontinyu Gempa Pidie	68
7.6 Instalasi Pengamatan GPS Kontinyu Temporer Gempa Pidie	68
7.7 Bukti Daratan Aceh mengalami penambahan tegangan (<i>stress</i>) akibat gempa 2004 dan 2012	72



8. Observasi Skala Intensitas Kegempaan dan Kondisi Geologi Wilayah Bencana	77
8.1 Dampak Gempa	77
8.2 Kondisi geologi daerah terdampak gempa	81
8.3 Analisis kondisi wilayah bencana berdasarkan data mikrotremor	82
8.4 Dokumentasi	84
9. Observasi Tipe Kerusakan Struktural Bangunan dan Infrastruktur	89
9.1 Teknik Penilaian dan Klasifikasi Tingkat Kerusakan	89
9.2 Identifikasi Daerah Terkena Dampak	90
9.3 Survei Kerusakan Struktur Bangunan dan Infrastruktur terhadap Kompleks Perkantoran Kabupaten Pidie Jaya	91
9.4 Survei Kerusakan Struktur Bangunan dan Infrastruktur terhadap Bangunan Publik	93
9.5 Survei Kerusakan Bangunan Rumah Tinggal dan Rumah Toko (Ruko)	95
9.6 Tipe Kerusakan	96
10. Hasil Awal Konklusi Sumber Gempa Pidie Jaya 2016	99
11. Analisis Model <i>Shakemap</i> PGV terhadap Dampak Gempa Pidie Jaya	105
11.1 Survei Makroseismik	105
11.2 Hasil Survei dan Pembahasan	107
11.3 Dokumentasi	111
12. Antisipasi Guncangan Gempa Dalam Peta Gempa Nasional	119
13. Respon Masyarakat	123
14. Simpulan	131
15. Usulan Tindak Lanjut	135
16. Daftar Referensi	137
Lampiran I. Skala SIG-BMKG	140
Lampiran II. Peta Sesar Pidie Jaya dan Zonasi Kerusakan Gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016	141



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Data gempa utama dari BM	1
Gambar 2 Peta Intensitas Gempa Pidie 7 Desember 2016 (Sumber: BMKG)	2
Gambar 3(kiri) peta hazard gempa Indonesia tahun 2010 PGA pada batuan dasar untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun), yang sudah memperhitungkan semua sumber gempa. Gambar 3 (kanan) Hasil awal peta hazard gempa Indonesia tahun 2016 PGA di batuan dasar untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun), yang dihitung dari sesar darat, tetapi belum memperhitungkan sumber gempa megathrust dan background.....	3
Gambar 4 Jalur sesar aktif di daratan Aceh dan sejarah gempa darat merusak (Natawidjaja, 2016)	6
Gambar 5 Lokasi Episenter Gempa Timur Laut Pidie Jaya (Daryono dkk, 2016)	7
Gambar 6 Peta perbandingan pusat gempa Pidie Jaya – Aceh 07 Desember 2016 dengan lembaga-lembaga lain (Daryono dkk, 2016).....	8
Gambar 7Peta Seismisitas di sekitar Provinsi Aceh tahun 2004-2016 (Daryono dkk, 2016).....	9
<i>Gambar 8 Peta gempa dirasakan dari tahun 1821 – 2013(Daryono dkk, 2016).</i>	10
Gambar 9 (a). Hasil analisa mekanisme fokal pergeseran sesar pada sumber gempa (sumber Seiscomp3-BMKG) (b). Ilustrasi bidang sesarnya (Daryono dkk, 2016)	13
Gambar 10 Peta gempa susulan Pidie Jaya, Provinsi Aceh sampai tanggal 15 Desember 2016 pukul 20:00 WIB	14
Gambar 11 Peluruhan Gempa Susulan (Daryono dkk, 2016)	20
Gambar 12 Foto Kerusakan di Pidie Jaya - Aceh (laporan via whatsapp messenger - BMKG).....	21
Gambar 13 Peta episenter gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016 (bintang warna kuning).Bulatan warna merah sampai kuning adalah episenter gempa katalog PuSGeN tahun 1900-Agustus 2016.....	23
Gambar 14 Aftershock gempa Pidie Jaya sampai tanggal 9 Desember 2016 pukul 02:30 WIB (bulatan warna merah), bintang warna kuning adalah mainshock updated (sumber data: BMKG).....	24
Gambar 15. Diagram Wadati mainshock gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016.	26
Gambar 16 Peta episenter gempa Pidie Jaya dan aftershock hasil repicking (Supendi & Nugraha, 2016). Bintang warna kuning adalah mainshock dan bulatan merah adalah aftershock sampai tanggal 7 Desember 2016 pukul 19:00 WIB.....	27
Gambar 17 RMS pada saat penentuan lokasi event aftershock.	27
Gambar 18 Plot vertikal dari mainshock dan aftershock hasil re-picking.....	28
Gambar 19 (a) Focal Mechanism untuk mainshock gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 dan data aftershock (data hiposenter hasil ynthetic Supendi & Nugraha, 2016) menggunakan program ISOLA (Sokos dan Zahradník, 2008) berdasarkan metode Moment Tensor Inversion. (b) Waveform fitting untuk mainshock, band pass filter 0.015 – 0.065 Hz. Waveform warna merah adalah kalkulasi (ynthetic), sedangkan waveform warna	



	hitam adalah observasi. (c) Parameter focal mechanism dan waveform fitting untuk aftershock tanggal 07 Desember 2016 pukul 05:18 WIB dan (d) tanggal 09 Desember 2016 pukul 16:49 WIB, band pass filter 0.07 – 0.16 Hz. Waveform warna merah adalah kalkulasi (synthetic), sedangkan waveform warna hitam adalah observasi.	30
Gambar 20	Proses instalasi seismometer di wilayah Pidie yang melibatkan tim dari ITB, Unsyiah dan BMKG yang didukung peralatan dari GFZ Postdam Jerman. Terlihat pula jamuan minuman jahe dan keramah-tamahan dari masyarakat Aceh menerima kehadiran tim ini. (Foto dari Kadek Palgunadi Hendarawan dan Riskiray Nugroho).....	30
Gambar 21	<i>Peta episenter mainshock dari USGS (bintang kuning), GFZ (bintang hijau), BMKG (bintang biru), dan Supendi & Nugraha (2016) (bintang ungu) dan aftershock dari BMKG per 14 Desember 2016 (bulat merah) dan aftershock hasil re-pick per 7 Desember 2016 dari Supendi & Nugraha (2016).</i>	31
Gambar 22	<i>Potongan melintang (cross-section) aftershock Pidie Jaya tanggal 7-19 Desember 2016. Lebar penampang 50 km dan travel-time residual untuk aftershock gempa Pidie Jaya sebelum dan setelah relokasi (data: BMKG tanggal 7-19 Desember 2016).....</i>	32
Gambar 23	Peta jaringan akselerograf BMKG sampai dengan tahun 2016	36
Gambar 24	Sebaran stasiun akselerograf pencatat gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016	37
Gambar 25	Rekaman sinyal akselerograf gempa Pidie Jaya pada stasiun LHMI	37
Gambar 26	Spectra gelombang percepatan dan kecepatan gempa Pidie Jaya pada stasiun LHMI.....	38
Gambar 27	Perbandingan spectra akselerograf LHMI dan spectra acelerograph stasiun portable di Pidie untuk gempa Pidie M 5.3 Tanggal 11 Desember 2016 Pukul 09:50:35 WIB	39
Gambar 28	Retakan yang diamati di Panteraja yang mengakibatkan kerusakan bangunan. Kiri: GP017 (Supartoyo dkk, 2016), Kanan: GP018 (Foto: Hidayati, 2016).....	44
Gambar 29	Kenampakan likuifaksi yang diamati di Panteraja (Foto: Supartoyo, 2016)	45
Gambar 30	Dugaan Sesar Menganan di Panteraja, Kabupaten Pidie Jaya, ditunjukkan oleh garis putus-putus biru (Hidayati dkk, 2016)	45
Gambar 31	Observasi Rekahan di Panteraja (Foto: Isa, 2016)	46
Gambar 32	Sesar permukaan di desa Kuta Pangwa mengakibatkan robohnya Masjid Jami Quba. Terlihat aspal bagian kanan agak terangkat. (Foto: Supartoyo, 2016)	47
Gambar 33	Indikasi pergerakan mengiri dari tembok dan kolom yang berpindah. (Foto: Supartoyo, 2016)	48
Gambar 34	Pesantren yang terletak di selatan Masjid Jami Quba mengalami rusak berat. (Foto: Supartoyo, 2016)	48
Gambar 35	Terlihat tiga retakan berarah U-S di simpang Pangwa (warna merah). (Foto: Supartoyo, 2016)	49



Gambar 36. Retakan menyerong relatif berarah U - S mengakibatkan robohnya ruko yang terletak di utara jalan (pada gambar di belakang dump truk). (Foto: Supartoyo, 2016)	50
Gambar 37 Peta lokasi sesar permukaan beserta foto-fotonya yang teridentifikasi di daerah (1) Panteraja, (2) Kuta Pangwa, dan (3) Simpang Pangwa	51
Gambar 38 Lokasi Survei Manifestasi Deformasi Permukaan Dugaan Sesar Pidie Jay di lokasi (4) Pasar Ikan Pangwa, yang berada di jalur dugaan sesar PuSGeN secara morfologi (Hanifa dkk, 2016)	52
<i>Gambar 39 Lokasi Survei Deformasi Permukaan di titik S9 di Pasar Ikan Meureudu. Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan, Wahyu Triyoso PuSGeN, Foto oleh Wahyu Triyoso, Foto Drone oleh Andri BNBP. Terlihat offset sekitar 8 cm dengan pola mengiri pada pergeseran marker jalan.</i>	52
Gambar 40 Lokasi Survei Deformasi Permukaan di titik S9 di Pasar Ikan Pangwa. Survei oleh Amir Hamzah, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN, Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.	53
Gambar 41 Lokasi Survei Deformasi Permukaan di titik S9 di Pasar Ikan Pangwa. Foto oleh Amir Hamzah Isa.	54
Gambar 42 Lokasi Survei Deformasi Permukaan sisi Utara rumah titik S9 di Pasar Ikan Pangwa. Foto oleh Bagoes Dwi Ramdhani.	54
Gambar 43 Rekahan mengarah barat daya-timur laut di sisi utara-timur Jembatan Pangwa. Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.	55
Gambar 44 Lokasi Survei Surface Rupture di titik S8. Utara menghadap ke sisi kanan foto. Foto: Amir Hamzah Isa.	55
Gambar 45 Lokasi Observasi S2-S7 Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN	56
Gambar 46 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S6 dan S7. Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN, Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.	56
Gambar 47 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S6. Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN, Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.	57
Gambar 48 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S4. Foto: Tim survei ITB/ Pokja Geodesi PuSGeN.	57
Gambar 49 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S7 (kiri) S2-S7. Foto: Tim survei ITB/ Pokja Geodesi PuSGeN	58
Gambar 50 Peta yang menunjukkan interpretasi lokasi dan orientasi sesar Pidie Jaya di permukaan berdasarkan pemetaan deformasi permukaan di Panteraja(1), Kuta Pangwa (2), Simpang Pangwa (3), dan (4) Pasar Ikan Pangwa (Supartoyo dkk, 2016 dan Hanifa dkk, 2016)	59
Gambar 51 Kecepatan pergerakan tektonik di Indonesia berdasarkan data GPS BIG hingga 2016 (Susilo, 2016)	62
Gambar 52 Pemodelan Regangan berdasarkan data GPS (Meilano dkk, 2016)	62
Gambar 53 Peta Pemutakhiran Slip Rate di Segmen-segmen Sesar di Sumater (Pokja Geodesi PuSGeN, 2016)	63



Gambar 54 (kiri) deformasi koseismik Gempa Aceh 2004 (Chlieh dkk, 2007), (kanan) deformasi postseismik Gempa Aceh 2004 pada rentang waktu 2005 – 2010 (Gunawan dkk, 2014).....	64
Gambar 55 Deret Waktu Harian Titik Aceh yang terobservasi data GPS pada 2005 – 2010 (Gunawan dkk, 2014).....	65
Gambar 56 Deformasi coseismik dan postseismik Gempa Aceh 2012 (Hu et al 2016). ..	65
Gambar 57 Deformasi permukaan yang terdeteksi oleh citra satelit SAR pada Gempa Pidie Jaya 2016 (Agustan dkk, 2016).	66
Gambar 58 Tiga Kandidat Sesar Pidie Jaya berdasarkan data geodetic INSAR	67
Gambar 59 Pemodelan Deformasi Koseismik Gempa Pidie Jaya 2016	68
Gambar 60 Sebaran Jaringan Pengamatan GPS milik BIG (warna hijau), jaringan GPS yang dipasang ditunjukkan pada warna biru, bintang merah adalah epicenter dan garis putus-putus merah adalah lokasi sesar dari PuSGeN. (Pokja Geodesi PuSGeN).....	69
Gambar 61 Lokasi Pemasangan GPS di Pidie Jaya; warna biru adalah instalasi oleh ITB, warna hijau adalah instalasi oleh BIG, warna merah adalah Titik BPN, warna abu-abu adalah titik campaign BIG namun belum dilakukan pengamatan ulang. Garis putus-putus hitam adalah lokasi sesar berdasarkan data INSAR dan garis biru putus-putus adalah sesar hasil interpretasi geologi Pidie Jaya. Epicenter Gempa Pidie Jaya ditunjukkan oleh bintang merah. (Pokja Geodesi PuSGeN)	70
Gambar 62 Titik PUPJ di atap Kantor PU.(Foto: Pokja Geodesi PuSGeN)	70
Gambar 63 Penampang 4 Arah Mata Angin Titik PUPJ di Rooftop Kantor PU Pidie Jaya(Foto: Pokja Geodesi PuSGeN)	71
Gambar 64 Titik MCPJ di Meunasa Meucat, Desa Meucat (Foto: Pokja Geodesi PuSGeN)	71
Gambar 65 Penampang 4 Arah Mata Angin MCPJ di rooftop Meunasa Kantor Desa Meucat (Foto: Pokja Geodesi PuSGeN).....	71
Gambar 66 Instalasi GPS oleh BIG di Kantor PLN Meureudu (PLPJ) serta di Kantor PLN Beureunun (PLBN) (Foto: Susilo).....	72
Gambar 67 Implikasi gempa Sumatra Andaman 2004 dan gempa Nias 2005 pada segmen bagian Utara dari Sesar Sumatra. (a) Setelah gempa Sumatra Andaman 2004 dan sebelum gempa Nias 2005 (b) setelah kedua gempa Sumatra Andaman 2004 dan gempa Nias 2005. Distribusi slip coseismic gempa 2004 menggunakan model Chlieh, dkk. 2007 dan model Briggs, dkk. 2007 untuk gempa Nias (Cattin, dkk., 2009).	73
Gambar 68 Coulomb stress changes dari gempa Sumatra-Andaman 2004 pada bidang penerima dugaan sesar Pidie Jaya sebesar 3.2 bar	73
Gambar 69 Coulomb Stress Changes dari gempa Nias 2005 pada bidang penerima sebesar -0.16 bar	74
Gambar 70 Coulomb Stress Changes dari Gempa Aceh 2012 pada bidang penerima sebesar -0.27 bar	74
Gambar 71 coulomb stress changes dari gempa Takengon 21 Januari 2013 (M6.1) yang dianalisis mentrigger gempa Takengon 2 Juli 2013 (M6.1) (Ito, et. al., 2016)	75
Gambar 72 Coulomb Stress Changes dari Gempa Pidie Jaya 2016 pada area sekitarnya ..	75



Gambar 73 Kandidat Sesar Pidie Jaya berdasarkan data geodetik.....	76
Gambar 74. Citra ortofoto dari foto udara dikombinasikan dengan data pemeriksaan lapangan di sekitar Masjid Jami Quba Kecamatan Pangwa (A) dan kantor Bupati Pidie Jaya di Meureudu (B).....	78
Gambar 75 Peta intensitas gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016.....	79
Gambar 76. <i>Peta kawasan rawan bencana gempa Provinsi Aceh (Priambodo, dkk., 2014). Kotak hitam merupakan daerah bencana yang termasuk pada kawasan rawan bencana gempa.</i>	80
Gambar 77. Peta geologi wilayah bencana gempa yang dimodifikasi dari peta geologi lembar Banda Aceh skala 1:250.000 (Bennet, et. al., 1981) dan Lembar Lhokseumawe skala 1:250.000 (Keats, et. al., 1981) serta lokasi kerusakan hasil pemeriksaan lapangan.....	82
Gambar 78. <i>Peta nilai periode dominan (A) dan amplifikasi guncangan gempa (B) di wilayah bencana berdasarkan hasil analisis data mikrotremor</i>	83
Gambar 79. Kerusakan Sekolah Tinggi Agama Islam Al Aziziah di Samalanga, Kabupaten Bireun akibat gempa tanggal 7 Desember 2016.....	84
Gambar 80. Likuifaksi mengakibatkan penurunan rumah penduduk di daerah Ulim, akibat gempa tanggal 7 Desember 2016.....	84
Gambar 81. Pergeseran tanah mengakibatkan robohnya Masjid Quba Jami, daerah Treanggadeng, akibat gempa tanggal 7 Desember 2016.....	85
Gambar 82. Kerusakan bagian dalam Kantor Bupati Pidie Jaya akibat gempa tanggal 7 Desember 2016.....	85
Gambar 83. Retakan tanah berarah utara-selatan mengakibatkan kerusakan jalan dan rumah penduduk di daerah Teumenah, akibat gempa tanggal 7 Desember 2016.....	86
Gambar 84. Sosialisasi tentang mitigasi gempa dengan tokoh masyarakat dan Kepala Desa Meunasah Balik, Kabupaten Pidie Jaya.....	86
Gambar 85. Foto-foto kegiatan Tim Tanggap Darurat Badan Geologi tahap kedua di lokasi bencana gempa.....	87
Gambar 86 Distribusi lokasi kerusakan struktur bangunan dari kategori rusak ringan-runtuh di daerah yang terkena dampak gempa. Garis hitam adalah garis sesar yang diduga sebagai pemicu terjadinya gempa.....	90
Gambar 87 Lokasi Kompleks Perkantoran Kabupaten Pidie Jaya.....	91
Gambar 88 Kerusakan nonstruktural (dinding bata) pada gedung-gedung perkantoran.....	92
Gambar 89 Kerusakan struktural pada join balok-kolom di Gedung Kejaksaan Tinggi..	92
Gambar 90 Kerusakan geser pada balok.....	93
Gambar 91 Mekanisme keruntuhan soft story pada STAI Al-Aziziyah.....	93
Gambar 92 Kerusakan nonstruktural yang menimbulkan bahaya benda jatuh.....	94
Gambar 93 Penulangan struktur kolom tidak mengikuti persyaratan bangunan tahan gempa.....	94
Gambar 94 Kerusakan struktur kolom pada Masjid Al-Qausas.....	95
Gambar 95 Penulangan kolom tidak mengikuti persyaratan bangunan tahan gempa ...	95
Gambar 96 Deretan ruko yang sebagian mengalami keruntuhan.....	96
Gambar 97 Kandidat Sesar Pidie Jaya berdasarkan data geologi.....	99
Gambar 98 Sebaran mainshock dan aftershock gempa Pidie Jaya 2016 (Supendi dan Nugraha, 2016).....	100



Gambar 99 Kandidat sesar Pidie Jaya berdasarkan data geodetik.	101
Gambar 100 Lokasi Sesar Pidie Jaya berdasarkan observasi lapangan	101
Gambar 101 Keseuaian lokasi sesar Pidie Jaya (garis putus merah) dengan data seismik. Focal Mechanisme dan sebaran aftershock gempa Pidie Jaya 2016. Jingga: Aftershock BMKG hingga 14 Desember 2016, Magenta: Aftershock Pokja Seismologi hingga 11 Januari 2017.....	102
Gambar 102 Lokasi sesar Pidie Jaya berdasarkan kesesuaian data geologi–seismologi–geodesi dan observasi lapangan	102
Gambar 103 Peta lokasi mainshock gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 dan lokasi dugaan sesar.....	103
Gambar 104. Bangunan STAI Al Aziziah (sebelah kanan foto) roboh dengan lantai 1 hancur, sedangkan bangunan rumah (sebelah kiri foto) hanya mengalami rusak ringan	108
Gambar 105 Update shakemap PGV dengan tambahan data aftershock belum direlokasi (bintang kecil hijau) dan relokasi (bintang kecil merah), berturut-turut dari Daryono (BMKG) dan Andri DN dan Pepen (ITB), juga update model shakemap berdasarkan episenter updated BMKG (Muzli, dkk., 2016).....	109
Gambar 106 Updated shakemap PGV dengan tambahan data aftershock belum direlokasi (bintang kecil hijau) dan relokasi (bintang kecil merah), berturut-turut dari Daryono (BMKG) dan Andri DN dan Pepen (ITB), juga updated model shakemap berdasarkan episenter USGS (Muzli, dkk., 2016)	110
Gambar 107 Update shakemap PGV dengan tambahan data aftershock belum direlokasi (bintang kecil hijau) dan relokasi (bintang kecil merah), berturut-turut dari pak Daryono (BMKG) dan pak Andri DN dan pak Pepen (ITB), juga update model shakemap berdasarkan episenter updated GFZ (Muzli, dkk., 2016)	110
<i>Gambar 108 Peta intensitas gempa Pidie 7 Desember 2016 (Sumber: Muzli, BMKG)</i>	<i>119</i>
Gambar 109 Peta geologi daerah Pidie Jaya dan sekitarnya (Peta Geologi Lembar Banda Aceh dan Lhokseumawe)	120
Gambar 110 Hasil awal peta hazard gempa Indonesia tahun 2016 PGA di batuan dasar untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun), yang dihitung dari sesar darat, namun belum memperhitungkan sumber gempa megathrust dan background.....	121
Gambar 111. Model gridded/smoothed seismicity digunakan untuk mengestimasi rate dari kejadian gempa sedang yang akan datang di daerah sesar dan gempa-gempa acak di luar sesar (Petersen et al., 2008).....	121
Gambar 112 Grafik percepatan terhadap jarak untuk model Atenuasi Shallow Crustal (Fault & shallow BG)	122
Gambar 113 Jenis Kelamin dan Umur Responden	123
Gambar 114 Langkah yang pertama dilakukan saat gempa	123
Gambar 115. Jumlah responden yang melakukan evakuasi, serta pemilihan tempat evakuasi.....	124
Gambar 116 Saran Evakuasi yang digunakan	124



Gambar 117 Tempat Evakuasi Sementara dan Pengetahuan responden mengenai Jalur Evakuasi	124
Gambar 118 Persepsi responden terhadap kerusakan bangunan mengacu pada SIG BMKG.....	125
Gambar 119 Persepsi Responden terhadap potensi tsunami.....	126
Gambar 120 Perolehan informasi tsunami.....	126
Gambar 121 Survei respon masyarakat melalui kegiatan wawancara dan diskusi	127
Gambar 122 Survei Respon Masyarakat Melalui kegiatan Wawancara dan Diskusi	128
Gambar 123 Penyerahan pompa penyaring air bersih diterima oleh Kepala Desa Meucat Kab. Pidie Jaya	128
Gambar 124 Liquefaction yang terjadi pada beberapa lokasi terdampak dari gempa Pidie Jaya M6.5 2016.....	129
Gambar 125 Ruko yang rusak berat dan ruko yang rusak ringan berdampingan, di Pasar Meureudu. (Foto Pokja Geodesi PuSGeN).....	130



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Timeline Gempa Aceh (BMKG).....	8
Tabel 2 Perbandingan Parameter gempa Pidie Jaya – Aceh 7 Desember 2016 pukul 05:03:36 WIB	9
Tabel 3 Gempa dirasakan dan merusak signifikan di Provinsi Aceh (BMKG).	11
Tabel 4 Tabel parameter mekanisme fokal gempa Aceh (BMKG)	13
Tabel 5 Gempa susulan (BMKG)	14
Tabel 6 Lokasi hiposenter hasil analisa Supendi & Nugraha 2016	27
Tabel 7 Lokasi Instalasi Seismometer	31
Tabel 8 Hasil analisa akselerograf gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016	37
Tabel 9 Lokasi Survei Manifestasi Deformasi Permukaan pada Desember 2016	42
Tabel 10. Lokasi pengamatan GPS untuk Gempa Pidie Jaya (Pokja Geodesi PuSGeN)	69
Tabel 11. Mekanisme Gempa Pidie Jaya	100
Tabel 12. Klasifikasi dampak gempa	105



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I. Skala SIG BMKG

LAMPIRAN II. Peta Sesar Pidie Jaya dan Zonasi Kerusakan Gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016

PUSGGeN
Pusat Studi Gempa Nasional



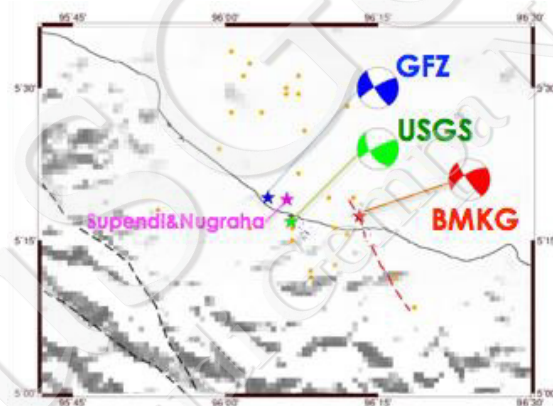
PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional

1. Pendahuluan

Pada hari Rabu 7 Desember 2016, pukul 05. 03.36 WIB terjadi gempa di wilayah Kabupaten Pidie Jaya, Provinsi Aceh. Menurut data BMKG, gempa ini berkekuatan M6.5 dengan pusat gempa terletak pada 5,25 LU dan 96,24 BT dengan kedalaman 15 km (Gambar 1). Gempa utama ini diikuti oleh rentetan gempa-gempa susulan dengan kekuatan antara 3.0M sampai dengan 4.8M pada tanggal 7 Desember 2016.

Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), hingga tanggal 15 Desember 2016, gempa tersebut mengakibatkan 103 orang meninggal (96 orang di Kabupaten Pidie Jaya, 5 orang di Kabupaten Bireun, dan 2 orang di Kabupaten Pidie). Sebanyak 700 orang luka-luka (168 orang luka berat dan 532 orang luka ringan). Sejumlah 16.238 bangunan mengalami kerusakan (2.536 rusak berat, 2.473 rusak ringan, 11.329 rusak ringan). Gempa ini mengakibatkan 85.161 orang mengungsi.

Tabel 1 tabel tabelan



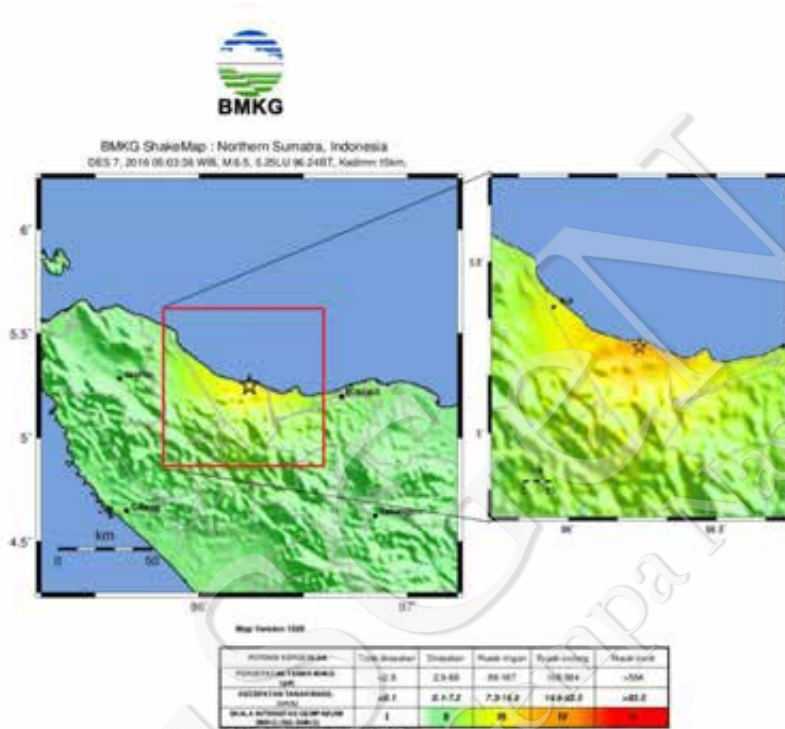
Gambar 1 Data gempa utama dari BM

KG yang sudah dimutakhirkan (merah), USGS (Hijau), GFZ (Biru), hasil relokasi Supendi dan Nugraha (2016), serta gempa susulan (oranye) pada tanggal 7 Desember 2016.

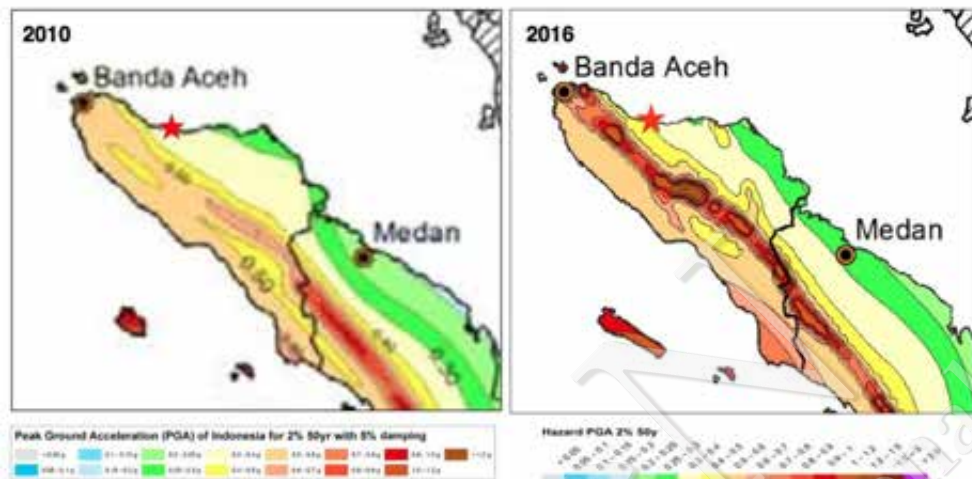
Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh BMKG, gempa ini mengakibatkan tingkat guncangan di wilayah Pidie Jaya dengan intensitas IV pada Skala Intensitas Gempa BMKG (SIG-BMKG) setara dengan VII-VIII MMI. Beberapa stasiun *accelerometer* yang terpasang di wilayah ini. Besar percepatan guncangan gempa di permukaan tanah berkisar antara 0,168–0,564 g (Gambar 2).

Berdasarkan peta *Probabilistic Seismic Hazard* Indonesia yang sudah dipublikasikan tahun 2010, tingkat percepatan gempa (*Peak Ground Acceleration -PGA*) di batuan dasar untuk 2% *PE* 50 tahun (periode ulang 2500 tahun) diestimasi antara 0,3-0,5 g (Gambar 3-kiri). Setelah memperhitungkan adanya amplifikasi gelombang gempa karena kondisi geologi setempat, percepatan gempa di permukaan tanah akan mempunyai nilai yang lebih besar dari gempa di

batuan dasar. Dengan demikian, besar guncangan gempa yang terjadi pada tanggal 7 Desember 2016 tersebut sudah diantisipasi dalam peta PSHA Indonesia tahun 2010.



Gambar 2 Peta Intensitas Gempa Pidie 7 Desember 2016 (Sumber: BMKG)



Gambar 3(kiri) peta hazard gempa Indonesia tahun 2010 PGA pada batuan dasar untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun), yang sudah memperhitungkan semua sumber gempa. Gambar 3 (kanan) Hasil awal peta hazard gempa Indonesia tahun 2016 PGA di batuan dasar untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun), yang dihitung dari sesar darat, tetapi belum memperhitungkan sumber gempa megathrust dan background.

Laporan ini merupakan kompilasi laporan survei dan kajian dari berbagai instansi yang tergabung di PuSGeN, yaitu dari PUSKIM, BMKG, ITB, PVMBG-BADAN GEOLOGI, LIPI, BNPB, BIG, ESDM, KEMENHUB, dan KEMENDIKTI. Laporan ini terdiri dari

1. Pendahuluan
2. Tektonik Aktif di Nangroe Aceh Darusalam
3. Deskripsi Gempa
4. Data *Ground Motion*
5. Tinjauan Seismologi
6. Observasi Geodetik, meliputi data GPS dan INSAR
7. Observasi Deformasi Permukaan
8. Observasi Skala Intensitas
9. Konklusi Sumber Gempa
10. Identifikasi Kerusakan Bangunan
11. Analisis Model Shakemap
12. Antisipasi Guncangan Gempa
13. Respons Masyarakat
14. Simpulan dan saran
15. Usulan Tindak Lanjut



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



2. Tektonik Aktif di Aceh

Danny Hilman Natawidjaja, Mudrikh Daryono
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

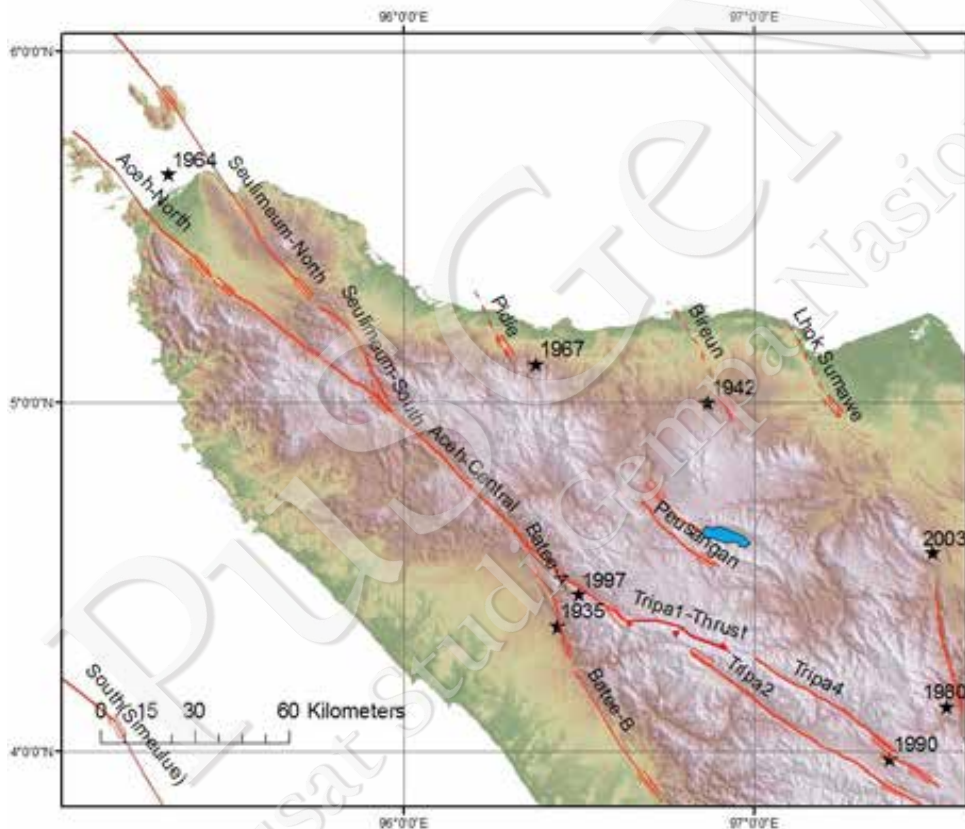
Di wilayah Sumatra, termasuk Aceh, terdapat dua sumber utama gempa, yaitu zona *megathrust* di bawah perairan barat Sumatra dan jalur Sesar Besar Sumatera. Zona *megathrust* merupakan batas antar lempeng pada zona subduksi, yaitu Lempeng Samudera Hindia yang menunjam di bawah Lempeng Sumatra. Sedangkan jalur Sesar Besar Sumatra merupakan jalur yang membelah pegunungan Bukit Barisan, mulai dari wilayah Aceh sampai Selat Sunda. Sesar atau patahan adalah bidang atau zona rekahan pada kerak bumi yang kedua sisi rekahan tersebut bergerak relatif terhadap satu dengan yang lainnya. Dua bagian bumi pada kedua sisi patahan tersebut terekat oleh tekanan dan gaya friksi dipermukaannya. Kedua blok di sisi sesar itu terus bergerak perlahan-lahan karena dorongan gaya tektonik. Tekanan pada bidang ini akan terus meningkat sampai akhirnya berakumulasi melampaui daya kuncinya sehingga bidang sesar tersebut pecah dan bergerak secara tiba-tiba melepaskan semua tekanan. Pergerakan tiba-tiba pada bidang sesar ini menimbulkan gelombang kejut (*shock waves*) yang kemudian menjalar ke semua arah dan menggetarkan bumi di sekitarnya dirasakan sebagai gempa. Setelah gempa terjadi, bidang sesar akan kembali mengunci dan secara perlahan tapi pasti kembali mengakumulasi tekanan untuk dilepaskan satu saat nanti sebagai gempa berikutnya.

Aktivitas gempa di wilayah Sumatra naik dengan drastis setelah terjadi gempa-tsunami Aceh tahun 2004. Hal ini terjadi karena setiap peristiwa gempa besar akan berkontribusi dalam menaikkan *tekanan tektonik* pada wilayah sekitarnya sehingga memicu gempa pada sumber-sumber gempa lain di wilayah tersebut. Gempa darat yang terjadi setelah gempa-tsunami Aceh tahun 2004 di antaranya, gempa kembar di Singkarak, Sumatra Barat tahun 2007 (M6.3 dan M6.4); gempa di wilayah Kota Padang tahun 2009 (M7.6); gempa Kerinci tahun 2009 (M6.7) yang terjadi 12 jam setelah gempa Padang. Perlu diketahui bahwa gempa Padang tahun 2009 tidak bersumber pada jalur Sesar Sumatra tapi merupakan gempa dalam di antara zona *Megathrust* dan Sesar Sumatra. Di wilayah Aceh, gempa darat terjadi tahun 2013 di wilayah Takengon - Danau Lot Tawar dengan kekuatan M6.4. Gempa Takengon ini mengakibatkan korban jiwa dan kerugian kerusakan bangunan serta infrastruktur yang besar. Jadi, gempa Pidie bukan yang pertama kali terjadi di Aceh dalam kurun setelah gempa Aceh tahun 2004. Menurut catatan sejarah dan rekaman jaringan seismogram, gempa 7 Desember 2016 juga bukan yang pertama kali terjadi di wilayah Pidie Jaya ini melainkan sudah pernah terjadi tahun 1967 (mb 6.1) dan tahun 1942 (M6.8).

Jalur utama sistem Sesar Sumatra di wilayah selatan Aceh melingkupi segmen Sesar Tripa, Sesar Aceh, Sesar Batee, dan Sesar Seulimeum. Sesar Tripa membelah wilayah pegunungan Aceh dari lembah alas di Provinsi Sumatra Utara. Di wilayah Aceh ada Sesar Batee yang membentang mulai dari wilayah pantai barat ke arah utara menjadi batas tektonik antara sisi barat pegunungan dengan dataran luas, dan terus menyatu dengan Sesar Aceh (gambar 4). Jalur utama Sesar Sumatra terbagi dua, menjadi Sesar Aceh segmen utara yang melewati bagian barat wilayah Kota Banda Aceh dan Sesar seulimeum di sebelah timurnya yang melewati lereng barat

Gunung Seulawah Agam ke utara membelah Pulau Weh. Sesar Seulimeum ini adalah segmen yang paling aktif atau mempunyai tingkat seismisitas lebih tinggi dibandingkan Sesar Aceh.

Selain jalur utama (orde 1) sesar Sumatra, terdapat juga sesar-sesar lain yang lebih kecil dimensinya atau biasanya lebih rendah aktifitas pergerakannya, yaitu sesar orde 2 dan 3. Sesar yang termasuk dalam katagori ini adalah Sesar Peusangan, Sesar Pidie, Sesar Bireun, dan Sesar Lhok Semawe yang mempunyai arah jalur yang (sub) paralel dengan Sesar Utama dan mekanisme penyesaran yang sama yaitu tipe *sesar geser dekstral* (pergerakan mengangan). Gempa di Pidie Jaya 7 Desember 2016 bersumber pada Sesar Pidie (Gambar 4).



Gambar 4 Jalur sesar aktif di daratan Aceh dan sejarah gempa darat merusak (Natawidjaja, 2016)

3. Deskripsi Gempa Pidie 7 Desember 2016

Daryono, Iman Fathurrahman

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

3.1 Parameter Gempa

Parameter Dikirim

Hari, Tanggal, Pukul	: Rabu, 7 Desember 2016, 05:03:36 WIB
Magnitudo	: 6.4
Lokasi	: 5.19 LU – 96.24 BT, 18 km Timur Laut Pidie Jaya – Provinsi
Kedalaman	: Aceh 10 km
Keterangan	: <ul style="list-style-type: none">– Pada kasus gempa ini BMKG <i>tidak mengeluarkan peringatan dini Tsunami.</i>– Mekanisme sumber gempa merupakan sesar mendatar (<i>strike slip</i>).– Gempa dirasakan sekitar Sigli, Pidie Jaya, IV SIG-BMKG (VII-VIII MMI), Samalanga, III SIG-BMKG (V-VI MMI), Lhokseumawe, Lhoksukon, dan Bireun II SIG-BMKG (IV-V MMI), Banda Aceh, Meulaboh II SIG-BMKG (III-IV MMI).

Pemutakhiran Parameter

Hari, Tanggal, Pukul : Rabu, 07 Desember 2016, 05:03:35 WIB
Magnitudo : 6.5
Lokasi : 5.25 LU – 96.24 BT, 11 km timur laut Pidie Jaya – Provinsi Aceh (Gambar 5)
Kedalaman : 15 km



Gambar 5 Lokasi Episenter Gempa Timur Laut Pidie Jaya (Daryono dkk, 2016)

Peta perbandingan pusat gempa Pidie Jaya, Aceh tanggal 7 Desember 2016 dengan lembaga lain disampaikan pada gambar 6.



Gambar 6 Peta perbandingan pusat gempa Pidie Jaya – Aceh 07 Desember 2016 dengan lembaga-lembaga lain (Daryono dkk, 2016)

3.2 Timeline Gempa

Kronologi proses pengolahan dan analisa serta disseminasi informasi gempa Pidie Jaya, 07 Desember 2016, diuraikan dalam bentuk *timeline*, seperti terlihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 2 Timeline Gempa Aceh (BMKG)

No	Waktu (WIB)	Interval Waktu	Timeline Gempa
1	05:03:35		terjadi gempa
2	05:04:59	00:01:24	Penentuan Episenter secara otomatis OT= 05:03:34 WIB, 5.20 LU – 96.15 BT Mag = 6.6 (M) Kedlmn: 10 km, yang diikuti bunyi <i>alarm</i>
3	05:07:56	00:04:21	Pemutakhiran Informasi Gempa OT= 05:03:34 WIB, 5.19 LU – 96.36 BT Mag = 6.4 (M) Kedlmn: 10 km
4	05:08:25	00:04:50	disseminasi Informasi Gempa OT= 05:03:36 WIB, 5.19 LU – 96.36 BT Mag = 6.4 (M) Kedlmn: 10 km
5	05:09:00	00:05:26	Cek website USGS, GFZ
6	05:09:00	00:05:26	Update data <i>shakemap</i>



7	05:15:01	00:11:26	Pemutakhiran <i>episenter</i> secara manual OT= 05:03:35 WIB, 5.25 LU - 96.24 BT Mag = 6.5 (M) Kedlmn: 15 km
8	05:19:25	00:15:50	Update berita gempa dirasakan dan <i>shakemap</i>

Perbandingan parameter gempa Pidie Jaya dengan instansi lain disampaikan dalam tabel 2.

Tabel 3 Perbandingan Parameter gempa Pidie Jaya – Aceh 7 Desember 2016 pukul 05:03:36 WIB

No.	INSTITUSI	WAKTU GEMPA (WIB)	LINTANG (°)	BUJUR (°)	KEDALAMAN (KM)	KEKUATAN GEMPA
1	BMKG (Indonesia)	05:03:36	5.19 LU	96.36 BT	10	6.4 (terkirim)
	BMKG (Indonesia)	05:03:35	5.25 LU	96.24 BT	15	6.5 (update)
2	USGS (USA)	05:03:32	5.28 LU	96.11 BT	8.2	6.5
3	GEOFON (Jerman)	05:03:33	5.32 LU	96.07 BT	10	6.5

3.3 Peta Seismisitas Aceh

Peta seismisitas Aceh secara umum ditunjukkan pada gambar 7.



3.4 Sejarah Gempa Merusak Di Sekitar Lokasi Gempa Utama

Gempa dirasakan dan merusak Aceh dari tahun 2004-2013 sebanyak 21 kejadian. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 4 berikut ini:



Gambar 8 Peta gempa dirasakan dari tahun 1821 – 2013(Daryono dkk, 2016).



Tabel 4 Gempa dirasakan dan merusak signifikan di Provinsi Aceh (BMKG).

No	Tanggal/Wilayah	OT	Koordinat (°)		Depth (km)	Mag	Wilayah yang merasakan
		(Origin Time) UTC	Lat	Long			
1	23 Agustus 1936		6.1	94.7	-	-	- Banda Aceh : VII - VIII
	Aceh						- Lhok Sukon, Lhokseumawe
	Tidak Tsunami						
2	2-Apr-64	1:11:55	5.9	95.7	132	5.2	Banda Aceh : VII (gempa ini merupakan yang terkuat di wilayah ini sejak gempa 23 Agustus 1936)
	Aceh						
	Tidak Tsunami						
3	12-Apr-67	4:51:50	5.3	97.3	55	6.1	- Pantai Timur Aceh - Takengeun - Lhokseumawe dan Sigli : VII - Jeunieb, Pendada, dan Jeumpa Bireun
	Aceh						
	Tidak Tsunami						
4	20 Juni 1976	20:56:32	3.2	96.3	33	6.1	- Banda Aceh - Medan (VII)
	Aceh						
	Tidak Tsunami						
5	4-Apr-83	51:34.4	5.72	94.72	78	6.6	- Banda Aceh : VI - Meulaboh
	Aceh						
	Tidak Tsunami						
6	20 Agustus 1997	7:15:16	4.358	96.494	33	6	- Banda Aceh, Medan, dan beberapa wilayah di Sumatra bagian utara. - Alor Setar, Petaling Jaya, Pinang dan Shah Alam, Malaysia - Hat Yai dan Songkhla, Thailand
	Aceh						
	Tidak Tsunami						
7	2-Nov-02	1:26:11	2.824	96.085	30	7.4	- Tapaktuan : VI - Meulaboh dan Singkil : V - Banda Aceh : IV - Lhokseumawe dan Medan : III - Kuala Lumpur dan Port Kelang, Malaysia
	Aceh (Simeulue)						
	Tidak Tsunami						
8	26 Des 2004	0:58:53	3.295	95.982	30	9	- Banda Aceh : IX - Meulaboh : VIII - Medan : IV - Bangladesh, India, Malaysia, Maladewa,
	Aceh – Andaman						



	Tsunami						Myanmar, Singapura, Sri Lanka, Thailand : III – V
9	26-Feb-05	12:56:53	2.908	95.592	36	6.8	- Simeleu, Banda Aceh dan Meulaboh
	Simeleu						
	Tidak Tsunami						
10	19-Nov-05	14:10:13	2.164	96.786	21	6.5	- Sinabang, Banda Aceh, Medan, Sibolga, Samosir dan Nias
	Simeleu						- Malaysia
	Tidak Tsunami						
11	28 Januari 2010	16:12:53	4.71	96.81	13	4.9	- Takengon: V – VI
	Aceh						
	Tidak Tsunami						
12	7-Apr-10	16:07:03	-3.85	100.91	37	6.3	- Padang
	Aceh – Sinabang						- Bengkulu
	Tsunami						
13	9 Mei 2010	5:59:41	3.61	95.84	30	7.2	- Meulaboh IV – V
	Aceh – Meulaboh						- Medan, Nias, Padamh : III – IV
	Tsunami						- Riau : II - III
							Tsunami, di Meulaboh : 20 cm
14	13 Juni 2010	19:26:49	7.68	91.99	21	7.5	Meulaboh, Aceh Barat: II – III
	Aceh – Andaman						
	Tidak Tsunami						
15	5-Sep-11	17:55:12	2.81	97.85	78	6.7	- Singkil : IV
	Singkil – NAD						- Sibolga, Samosir, Prapat: III – IV
	Tidak Tsunami						- Nias, Medan, Banda Aceh : III
							- Sinabang, Simeleu, Padang Pariaman: II - III
							- Padang : I – II
16	11-Apr-12	8:38:33	2.4	92.99	10	8.5	- Gunung Sitoli, Padang, Singkil : V
	Simeleu – NAD						- Meulaboh, Sibolga : V
	Tsunami						- Terasa sampai Singapura, Malaysia, Thailand dan Myanmar
17	23 Juni 2012	4:34:52	2.81	97.71	103	6.6	- Blang Pidie: IV
	Subussalam – NAD						- Sibolga : IV
	Tidak Tsunami						- Pantai Barat Sumbar : III
							- Banda Aceh : II – III
							- Medan : III
18	25 Juli 2012	0:27:43	2.51	95.9	24	6.4	- Banda Aceh : III
	Simeleu – NAD						- Simeleu : IV



	Tidak Tsunami						
19	21 Januari 2013	22:22:54	4.86	96.02	10	5.9	- Banda Aceh : V - Sigli : IV – V
	Aceh - Pidie						
	Tidak Tsunami						
20	2 Juli 2013	7:37:03	4.7	96.61	10	6.2	- Banda Aceh: III – IV - Lhokseumawe : III – IV - Takengon : III – IV Medan : II – III
	Aceh - Bener Meriah						
	Tidak Tsunami						
21	22 Oktober 2013	5:40:34	5.02	95.89	10	5.4	- Tangse: V - Aceh Besar : III – IV Mata ie : III - Sigli : II – III - Meulaboh : II
	Aceh-Tangse						
	Tidak Tsunami						

3.5 Mekanisme Gempa Aceh 7 Desember 2016

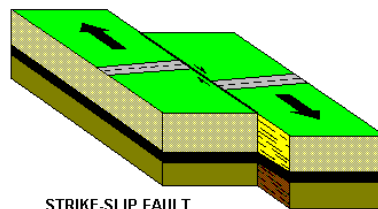
Berdasarkan hasil analisis mekanisme pada sumber gempa yang dilakukan oleh BMKG (tabel 4; Gambar 9 (a) dan (b)) , gempa Pidie Jaya - Aceh merupakan gempa yang dibangkitkan oleh aktivitas sesar mendatar (*strike-slip*).

Tabel 5 Tabel parameter mekanisme fokal gempa Aceh (BMKG)

Bidang Patahan (Nodal Plane)	Arah bidang patahan (strike) (°)	Kemiringan bidang patahan (dip) (°)	Pergeseran bidang patahan (slip) (°)
NP 1	148	81	32
NP 2	53	57	169



a

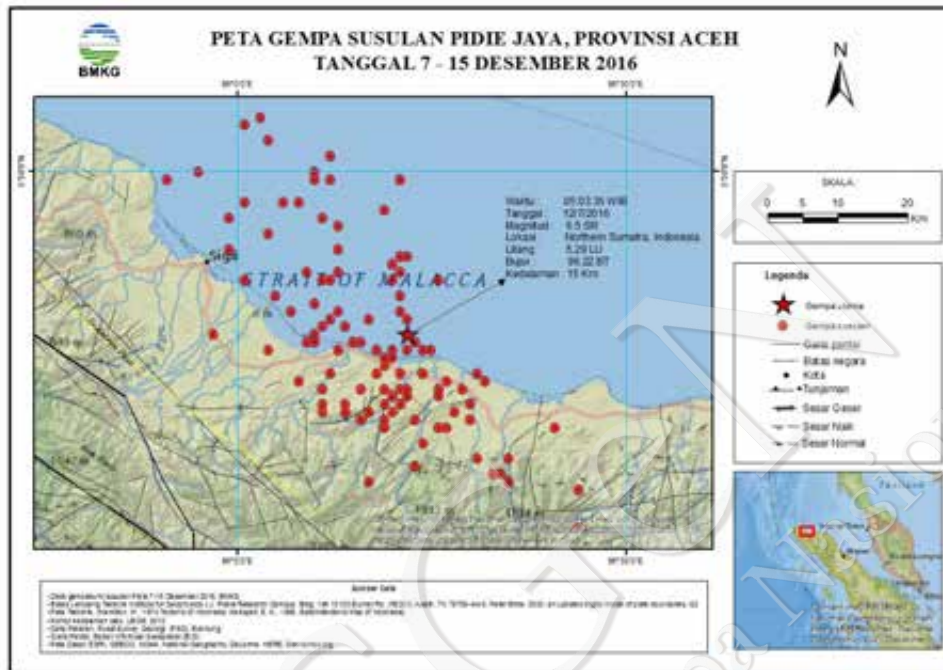


b

Gambar 9 (a). Hasil analisa mekanisme fokal pergeseran sesar pada sumber gempa (sumber SeiscomP3-BMKG) (b). Ilustrasi bidang sesarnya (Daryono dkk, 2016)

3.6 Gempa Susulan

Gempa ini diikuti oleh gempa susulan. Sampai 15 Desember 2016 pukul 20:00:00 WIB telah teranalisis sebanyak 110 (seratus sepuluh) kali.



Gambar 10 Peta gempa susulan Pidie Jaya, Provinsi Aceh sampai tanggal 15 Desember 2016 pukul 20:00 WIB

Tabel 6 Gempa susulan (BMKG)

No	Tanggal	OT(WIB)	Epicenter		Depth (km)	Magnitudo (SR)	
			Lintang (°)	Bujur (°)		Besaran	Type (mb,MLv,...)
Gempa Utama	12/7/2016	5:03:35	5.29 N	96.22 E	15 km	6.5	M _w
1	12/7/2016	5:10:35	5.28 N	96.15 E	10 km	4.9	M _{Lv}
2	12/7/2016	5:16:15	5.33 N	96.10 E	10 km	4.5	M _{Lv}
3	12/7/2016	5:18:18	5.50 N	95.95 E	10 km	4.9	M _{Lv}
4	12/7/2016	5:21:49	5.28 N	96.10 E	10 km	4.5	M _{Lv}
5	12/7/2016	5:27:39	5.32 N	96.21 E	10 km	4.6	M _{Lv}



No	Tanggal	OT(WIB)	Epicenter		Depth	Magnitudo (SR)	
6	12/7/2016	5:31:26	5.50 N	96.10 E	16 km	4.3	M _{LV}
7	12/7/2016	5:33:19	5.24 N	96.12 E	10 km	3.8	M
8	12/7/2016	5:34:07	5.54 N	96.04 E	10 km	4.5	M _{LV}
9	12/7/2016	5:38:16	5.46 N	96.01 E	14 km	4.5	M _{LV}
10	12/7/2016	5:40:49	5.36 N	96.12 E	10 km	4.8	M _{LV}
11	12/7/2016	5:43:28	5.19 N	96.14 E	18 km	4.0	M _{LV}
12	12/7/2016	5:47:22	5.56 N	96.01 E	10 km	3.8	M _{LV}
13	12/7/2016	5:51:16	5.30 N	96.11 E	10 km	4.0	M _{LV}
14	12/7/2016	5:52:13	5.49 N	96.21 E	10 km	3.8	M _{LV}
15	12/7/2016	6:00:44	5.27 N	96.13 E	10 km	3.7	M _{LV}
16	12/7/2016	6:12:29	5.20 N	96.14 E	10 km	3.7	M _{LV}
17	12/7/2016	6:39:10	5.43 N	96.13 E	10 km	4.4	M _{LV}
18	12/7/2016	6:46:51	5.49 N	96.12 E	12 km	4.2	M _{LV}
19	12/7/2016	6:53:19	5.26 N	96.20 E	18 km	3.9	M _{LV}
20	12/7/2016	6:58:04	5.52 N	96.12 E	10 km	3.0	M _{LV}
21	12/7/2016	7:02:33	5.29 N	96.10 E	10 km	3.6	M _{LV}
22	12/7/2016	7:05:23	5.22 N	96.19 E	10 km	3.3	M _{LV}
23	12/7/2016	7:08:59	5.24 N	96.31 E	13 km	3.3	M _{LV}
24	12/7/2016	7:14:25	5.21 N	96.26 E	10 km	3.2	M _{LV}
25	12/7/2016	7:23:43	5.27 N	96.18 E	10 km	3.7	M _{LV}
26	12/7/2016	7:27:27	5.11 N	96.34 E	10 km	3.2	M _{LV}
27	12/7/2016	7:48:56	5.32 N	96.13 E	10 km	3.5	M _{LV}



No	Tanggal	OT(WIB)	Epicenter		Depth	Magnitudo (SR)	
28	12/7/2016	8:02:38	5.13 N	96.35 E	10 km	3.3	M _{LV}
29	12/7/2016	8:15:29	5.49 N	96.10 E	10 km	4.1	M _{LV}
30	12/7/2016	8:18:12	5.18 N	96.30 E	10 km	3.4	M _{LV}
31	12/7/2016	8:35:08	5.40 N	95.99 E	10 km	3.4	M _{LV}
32	12/7/2016	8:38:29	5.19 N	96.28 E	10 km	3.4	M _{LV}
33	12/7/2016	8:53:58	5.27 N	96.04 E	10 km	3.4	M _{LV}
34	12/7/2016	8:55:29	5.46 N	96.06 E	10 km	3.7	M _{LV}
35	12/7/2016	9:03:50	5.29 N	95.97 E	10 km	3.4	M _{LV}
36	12/7/2016	9:10:22	5.44 N	96.11 E	10 km	3.2	M _{LV}
37	12/7/2016	9:29:42	5.49 N	95.91 E	10 km	3.7	M _{LV}
38	12/7/2016	10:04:45	5.57 N	96.03 E	10 km	4.4	M _{LV}
39	12/7/2016	10:10:59	5.18 N	96.16 E	10 km	3.6	M _{LV}
40	12/7/2016	10:13:16	5.27 N	96.20 E	10 km	3.5	M _{LV}
41	12/7/2016	10:43:38	5.04 N	96.44 E	10 km	3.1	M _{LV}
42	12/7/2016	11:08:58	5.22 N	96.26 E	10 km	3.4	M _{LV}
43	12/7/2016	11:58:08	5.26 N	96.19 E	18 km	3.2	M _{LV}
44	12/7/2016	12:36:22	5.39 N	96.22 E	10 km	3.4	M _{LV}
45	12/7/2016	12:46:21	5.18 N	96.19 E	10 km	3.3	M _{LV}
46	12/7/2016	13:02:07	5.42 N	96.04 E	10 km	4.4	M _{LV}
47	12/7/2016	13:12:56	5.17 N	96.27 E	10 km	3.6	M _{LV}
48	12/7/2016	13:45:06	5.40 N	96.13 E	10 km	3.0	M _{LV}



No	Tanggal	OT(WIB)	Epicenter		Depth	Magnitudo (SR)	
49	12/7/2016	13:58:43	5.10 N	96.35 E	10 km	2.9	M _{LV}
50	12/7/2016	15:08:07	5.45 N	96.19 E	10 km	3.2	M _{LV}
51	12/7/2016	16:54:46	5.19 N	96.20 E	10 km	3.5	M _{LV}
52	12/7/2016	17:21:55	5.09 N	96.44 E	15 km	3.2	M _{LV}
53	12/7/2016	18:18:57	5.31 N	96.17 E	10 km	3.7	M _{LV}
54	12/7/2016	19:00:21	5.21 N	96.22 E	10 km	3.2	M _{LV}
55	12/7/2016	19:22:59	5.37 N	96.13 E	10 km	3.3	M _{LV}
56	12/7/2016	19:47:04	5.34 N	96.05 E	10 km	3.3	M _{LV}
57	12/7/2016	23:05:42	5.20 N	96.11 E	10 km	4.8	M _{LV}
58	12/7/2016	23:43:02	5.27 N	96.25 E	10 km	3.8	M _{LV}
59	12/8/2016	0:05:53	5.36 N	96.26 E	10 km	3.5	M _{LV}
60	12/8/2016	0:11:19	5.10 N	96.17 E	10 km	3.6	M _{LV}
61	12/8/2016	0:16:06	5.22 N	96.22 E	10 km	3.8	M _{LV}
62	12/8/2016	0:59:39	5.28 N	96.16 E	10 km	3.4	M _{LV}
63	12/8/2016	1:45:04	5.23 N	96.32 E	10 km	3.7	M _{LV}
64	12/8/2016	6:55:10	5.12 N	96.23 E	10 km	3.8	M _{LV}
65	12/8/2016	7:30:28	5.17 N	96.26 E	10 km	3.1	M _{LV}
66	12/8/2016	8:23:34	5.23 N	96.27 E	10 km	2.9	M _{LV}
67	12/8/2016	8:27:04	5.25 N	96.19 E	10 km	3.3	M _{LV}
68	12/8/2016	9:42:05	5.39 N	96.21 E	10 km	3.3	M _{LV}
69	12/8/2016	9:46:26	5.17 N	96.26 E	10 km	3.6	M _{LV}
70	12/8/2016	9:56:07	5.36 N	96.20 E	10 km	3.4	M _{LV}



No	Tanggal	OT(WIB)	Epicenter		Depth	Magnitudo (SR)	
71	12/8/2016	12:39:44	5.15 N	96.24 E	10 km	3.4	M _{LV}
72	12/8/2016	12:41:41	5.21 N	96.20 E	18 km	3.5	M _{LV}
73	12/8/2016	12:57:56	5.22 N	96.29 E	10 km	3.2	M _{LV}
74	12/8/2016	13:01:45	5.22 N	96.21 E	10 km	3.5	M _{LV}
75	12/8/2016	14:21:54	5.20 N	96.30 E	18 km	4.4	M _{LV}
76	12/8/2016	16:07:09	5.24 N	96.18 E	10 km	3.6	M _{LV}
77	12/8/2016	16:24:32	5.17 N	96.19 E	10 km	3.2	M _{LV}
78	12/8/2016	19:20:16	5.13 N	96.31 E	10 km	2.7	M _{LV}
79	12/8/2016	21:09:04	5.37 N	96.21 E	10 km	2.9	M
80	12/9/2016	2:27:37	5.34 N	96.21 E	33 km	3.7	M _{LV}
81	12/9/2016	2:29:43	5.24 N	96.24 E	18 km	3.9	M _{LV}
82	12/9/2016	4:39:46	5.37 N	96.09 E	10 km	3.5	M _{LV}
83	12/9/2016	5:29:23	5.18 N	96.30 E	10 km	3.6	M _{LV}
84	12/9/2016	8:57:15	5.11 N	96.33 E	10 km	2.8	M _{LV}
85	12/9/2016	11:34:01	5.24 N	96.24 E	10 km	3.8	M _{LV}
86	12/9/2016	12:44:31	5.24 N	96.21 E	10 km	4.0	M _{LV}
87	12/9/2016	15:23:42	5.22 N	96.11 E	12 km	4.0	M _{LV}
88	12/9/2016	16:49:05	5.30 N	96.14 E	16 km	4.9	m _b
89	12/9/2016	21:08:02	5.32 N	96.07 E	10 km	4.5	M _L
90	12/10/2016	1:25:38	5.38 N	96.20 E	14 km	3.8	M _{LV}
91	12/10/2016	3:51:33	5.31 N	96.12 E	10 km	3.6	M _L



No	Tanggal	OT(WIB)	Epicenter		Depth	Magnitudo (SR)	
92	12/10/2016	6:52:55	5.28 N	96.23 E	10 km	3.5	M _{LV}
93	12/10/2016	7:31:10	5.27 N	96.24 E	10 km	3.3	M _{LV}
94	12/10/2016	12:16:10	5.23 N	96.08 E	10 km	3.4	M _{LV}
95	12/10/2016	15:43:04	5.19 N	96.11 E	10 km	3.7	M _{LV}
96	12/10/2016	23:42:44	5.46 N	96.08 E	10 km	4.3	M _{LV}
97	12/11/2016	1:45:28	5.22 N	96.16 E	10 km	3.0	M _{LV}
98	12/11/2016	9:50:35	5.31 N	96.22 E	11 km	4.9	m _b
99	12/11/2016	12:17:58	5.27 N	96.22 E	10 km	3.2	M _{LV}
100	12/11/2016	19:36:57	5.28 N	96.09 E	10 km	3.6	M _{LV}
101	12/11/2016	21:51:12	5.17 N	96.41 E	22 km	3.6	M _{LV}
102	12/11/2016	22:13:21	5.44 N	95.99 E	10 km	3.6	M _{LV}
103	12/12/2016	1:27:22	5.36 N	96.11 E	10 km	3.2	M _{LV}
104	12/12/2016	18:26:25	5.20 N	96.19 E	10 km	3.0	M _{LV}
105	12/13/2016	8:45:55	5.29 N	96.22 E	10 km	3.8	M _{LV}
106	12/14/2016	0:56:54	5.19 N	96.17 E	21 km	3.7	M
107	12/14/2016	7:59:38	5.18 N	96.23 E	10 km	3.2	M
108	12/15/2016	03:02:00	5.24 N	96.24 E	10 km	3.4	M
109	12/15/2016	06:29:26	5.20 N	96.21 E	10 km	3.4	M
110	12/15/2016	12:57:44	5.36 N	96.01 E	10 km	3.7	M

3.7 Peluruhan Gempa Susulan

Total gempa susulan hingga Kamis 15 Desember 2016 sebanyak 110 kali. Berdasarkan perhitungan peluruhan gempa dengan data BMKG sampai dengan 15 Desember 2016 pukul 20.00 WIB menggunakan metode mogi 1 diperkirakan gempa susulan akibat gempa Pidie Jaya-Aceh akan berakhir kurang lebih satu minggu setelah gempa utama.



Gambar 11 Peluruhan Gempa Susulan (Daryono dkk, 2016)

3.8 Dampak Gempa

Gempa dirasakan di sekitar Sigli, Pidie Jaya, IV SIG-BMKG (VII-VIII MMI), Samalanga, III SIG-BMKG (V-VI MMI), Lhokseumawe, Lhoksukon, dan Bireun II SIG-BMKG (IV-V MMI), Banda Aceh, Meulaboh II SIG-BMKG (III-IV MMI). Laporan sementara dari BNPB sampai tanggal 12 Desember 2016, pukul 06:00 WIB, di Kabupaten Pidie Jaya, Bireun dan Pidie total bangunan dengan kondisi rusak 10.534 unit rumah, 55 unit masjid roboh, dan 105 ruko roboh. Korban jiwa yang terdata berjumlah 102 orang meninggal dan 724 orang luka-luka.





Gambar 12 Foto Kerusakan di Pidie Jaya - Aceh (laporan via whatsapp messenger - BMKG)



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional

4. Tinjauan Seismologi mengenai Gempa Pidie 2016

Sri Widiyantoro¹, Andri Dian Nugraha¹, Nanang T. Puspito¹, Wahyu Triyoso¹, Mohammad Ridwan², Muzli³, Wandono³, Daryono³, Pepen Supendi³, Shindy Rosalia¹, Muksin Umar⁴, Riskiray Nugroho¹, Kadek Hendrawan Palgunadi¹, M Assrurrikaf⁵

¹Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan & Perminyakan, ITB

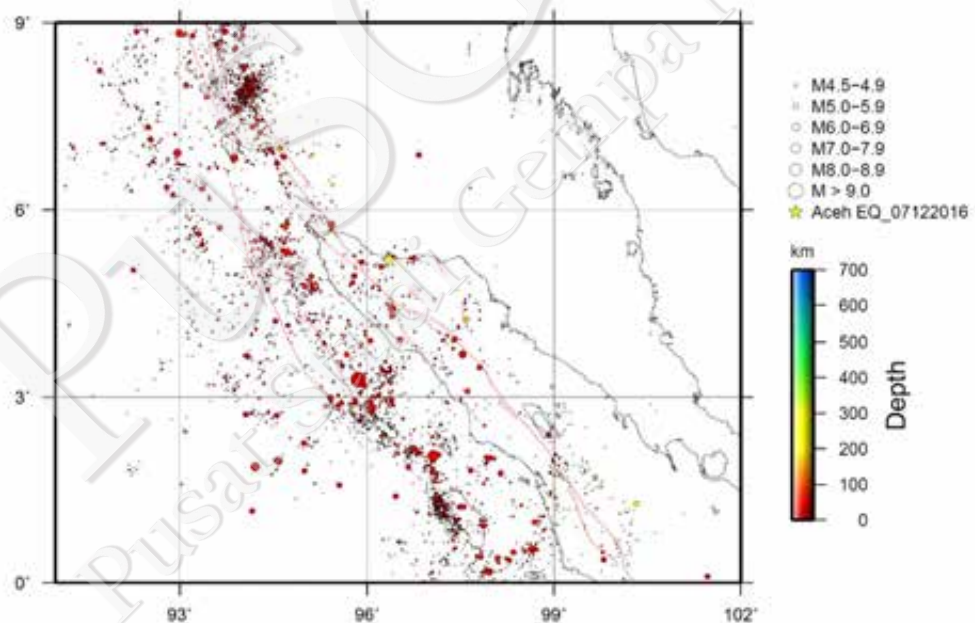
²PU-PUSKIM, Bandung

³BMKG

⁴Universitas Syiah Kuala, Aceh

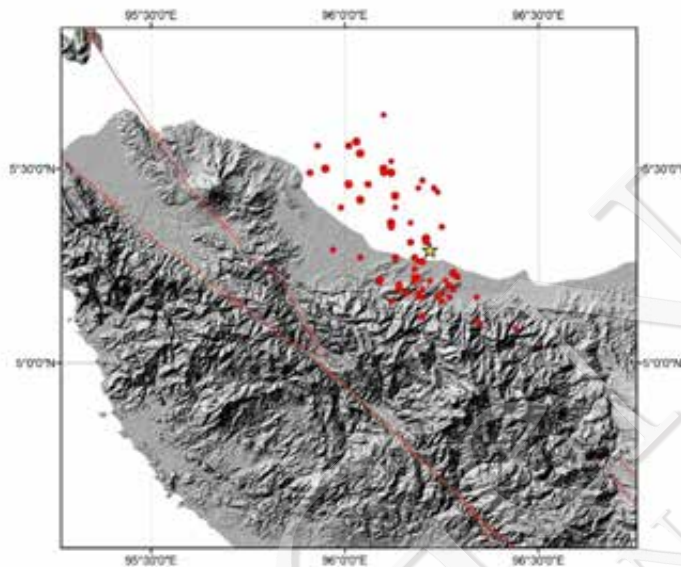
⁵Pusat Penelitian Mitigasi Bencana, ITB

Gempa Pidie-Aceh yang terjadi pada 7 Desember 2016 dengan magnitudo 6.5 (M_w) merambatkan gelombang seismik dengan guncangan yang sangat kuat dan merusak infrastruktur. Banyak korban jiwa dan kerugian materil akibat terjadinya gempa tersebut. Sejarah kejadian gempa yang terdokumentasi pada data katalog PuSGeN (sejak 1900 s.d Agustus 2016) memperlihatkan sebetulnya ada beberapa kejadian gempa di sekitar daerah tersebut (gambar 13).



Gambar 13 Peta episenter gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016 (bintang warna kuning). Bulatan warna merah sampai kuning adalah episenter gempa katalog PuSGeN tahun 1900-Agustus 2016.

Menurut informasi dari BMKG per tanggal 9 Desember 2016, teramati gempa-gempa *aftershock* baik yang dirasakan maupun tidak dirasakan seperti ditunjukkan oleh Gambar 14.

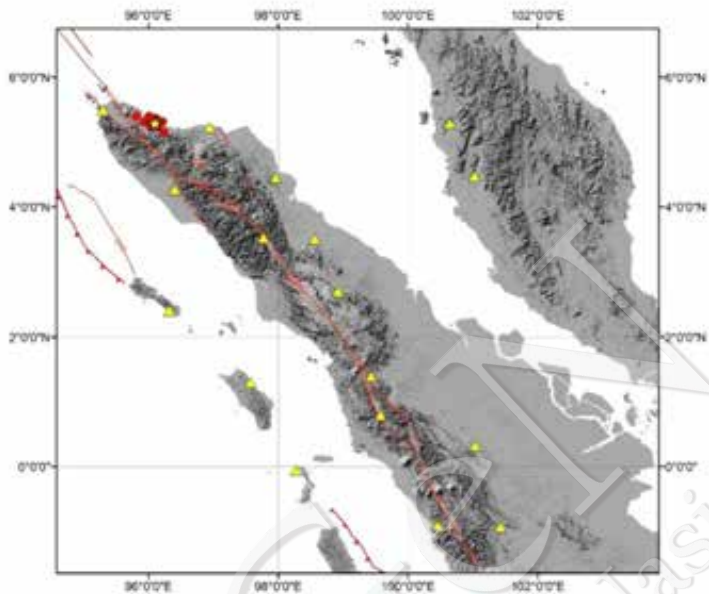


Gambar 14 Aftershock gempa Pidie Jaya sampai tanggal 9 Desember 2016 pukul 02:30 WIB (bulatan warna merah), bintang warna kuning adalah mainshock updated (sumber data: BMKG).

4.1 Repicking Mainshock dan Aftershock

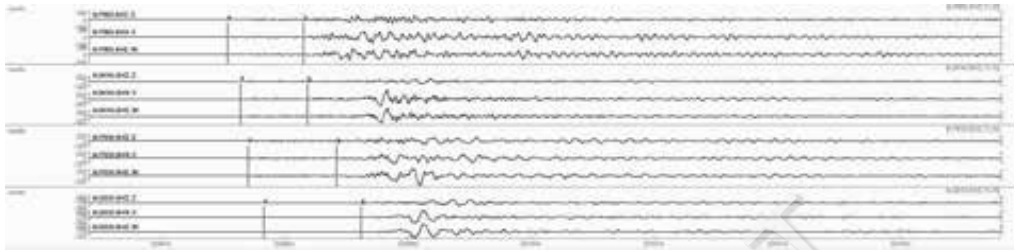
Tim POKJA seismologi melakukan penentuan kembali waktu tiba (*repicking*) fase gelombang P dan S dari data *mainshock* dan *aftershock* gempa Pidie-Aceh untuk menentukan lokasi hiposenter yang lebih presisi sehingga geometri sesar dapat ditentukan dengan baik. Kemudian, fasa gelombang P dan S tersebut bisa digunakan untuk keperluan studi seismologi lebih lanjut. Proses *repicking* waktu tiba gelombang P dan S menggunakan *software* Seisgram2K (Lomax and Michelini, 2009), sedangkan penentuan lokasi hiposenter menggunakan program Hypoellipse (Lahr, 1999). Model kecepatan gelombang seismik 1D yang digunakan adalah model global AK135 (Kennet et al., 1995).

Gambar 15 menunjukkan lokasi stasiun seismik BMKG yang merekam gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016, dan Gambar 16 menunjukkan *picking* waktu tiba fase gelombang P dan S untuk *mainshock* gempa Pidie Aceh yang terekam oleh beberapa stasiun BMKG yang secara umum *onset* waktu tiba P dan S terlihat cukup jelas.



Gambar 15 Stasiun seismik BMKG yang digunakan (segitiga warna kuning)

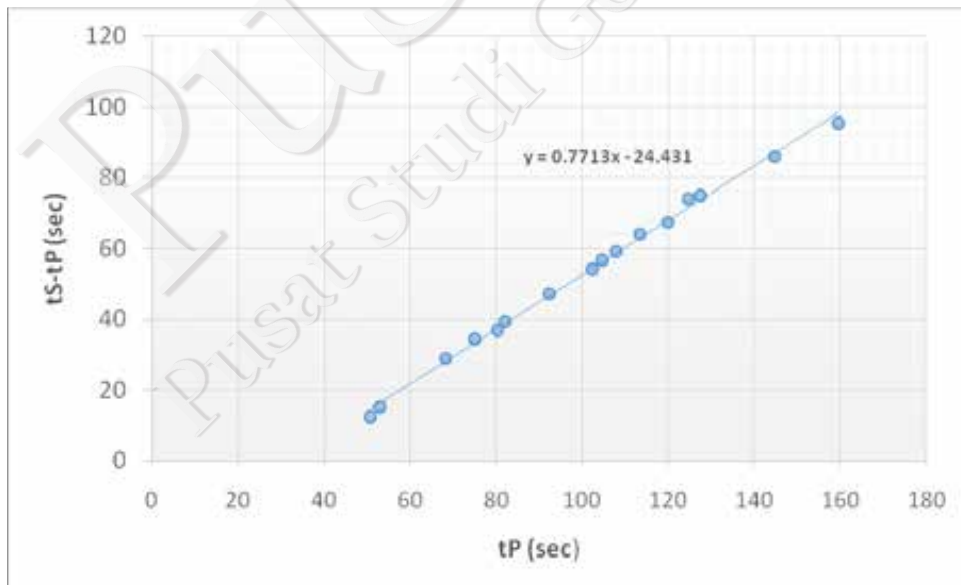




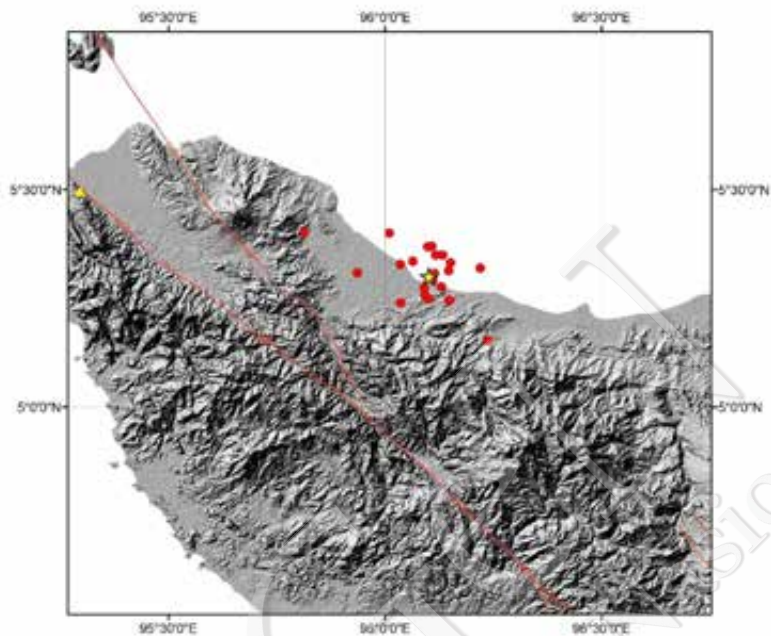
Gambar16 Picking fase waktu tiba gelombang P dan S mainshock gempa Pidie dari seismogram 3-C yang terekam oleh beberapa stasium seismometer BMKG

Sebagai validasi untuk menentukan apakah hasil *picking* fase gelombang P dan S sudah baik atau tidak, dilakukan analisis diagram Wadati (gambar 17), terlihat kurva berbentuk linear yang menandakan data tidak ada yang *outlier*. Kemudian nilai rasio V_p/V_s yang diperoleh sekitar 1.77 mendekati nilai rasio V_p/V_s rata rata global 1.73. Gambar 18 merupakan *zoom in* hasil penentuan lokasi hiposenter *mainshock* dan *aftershock* dengan menggunakan data hasil proses *repick* pada studi ini. Nilai RMS untuk penentuan tiap-tiap gempa *aftershock* ditunjukkan pada gambar 19.

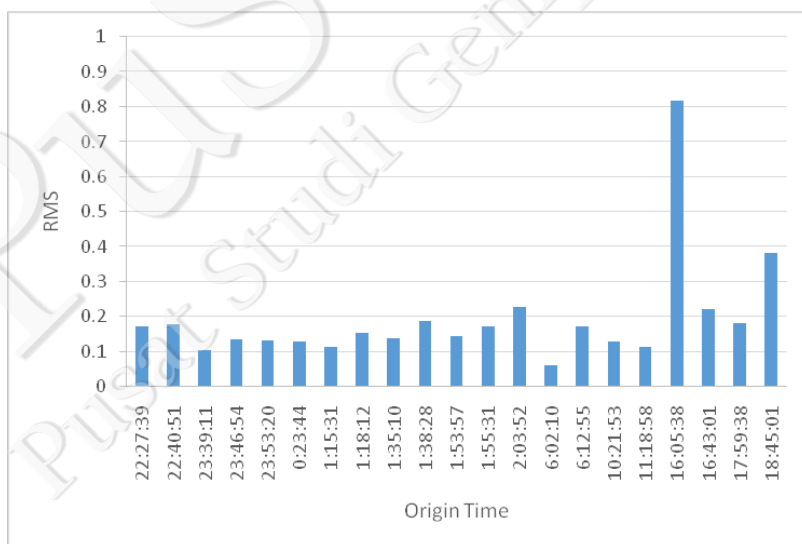
Plot vertikal dari *mainshock* dan *aftershock* hasil *re-picking* pada studi ini untuk arah barat laut-tenggara (A-A') dan arah timur laut-barat daya (B-B'), terlihat lokasi fokus *aftershock* membentuk kelurusan suatu bidang geometri dari sesar, seperti disampaikan dalam gambar 20.



Gambar 15. Diagram Wadati mainshock gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016.



Gambar 16 Peta episenter gempa Pidie Jaya dan aftershock hasil repicking (Supendi & Nugraha, 2016). Bintang warna kuning adalah mainshock dan bulatan merah adalah aftershock sampai tanggal 7 Desember 2016 pukul 19:00 WIB.



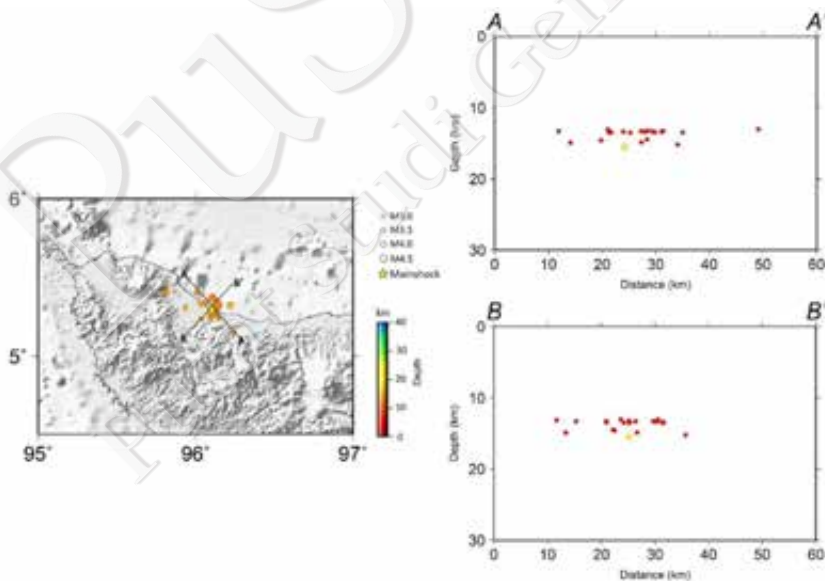
Gambar 17 RMS pada saat penentuan lokasi event aftershock.

Lokasi hiposenter untuk *mainshock* dan *aftershock* disampaikan pada tabel 6.

Tabel 7 Lokasi hiposenter hasil analisa Supendi & Nugraha 2016



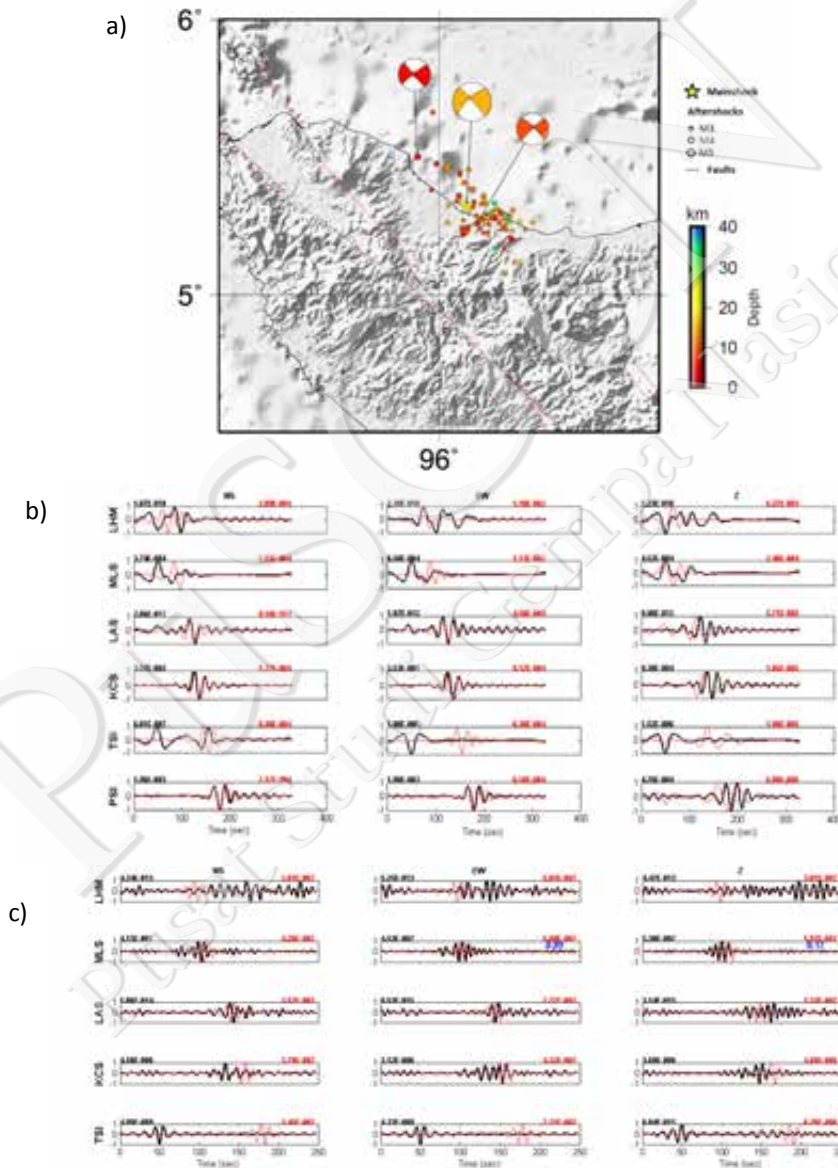
date	origin	lat	long	depth	rms
MAINSHOCK					
20161206 22:03:36.68		5.3174	96.1012	15.46	1.7407
AFTERSHOCK					
20161206 22:27:39.35		5.3492	96.1170	13.37	0.1721
20161206 22:40:51.06		5.3691	96.1084	13.50	0.1769
20161206 23:39:11.15		5.3681	96.0993	13.05	0.1038
20161206 23:46:54.75		5.3124	96.1470	13.32	0.1343
20161206 23:53:20.52		5.2753	96.1299	13.38	0.1331
20161207 00:23:44.32		5.2908	96.1107	13.24	0.1291
20161207 01:15:31.50		5.3484	96.1334	13.52	0.1143
20161207 01:18:12.49		5.1538	96.2381	13.03	0.1545
20161207 01:35:10.60		5.2383	96.0366	13.32	0.1387
20161207 01:38:28.33		5.2443	96.1484	13.50	0.1875
20161207 01:53:57.43		5.3080	95.9363	14.90	0.1446
20161207 01:55:31.27		5.2566	96.0926	13.46	0.1720
20161207 02:03:52.23		5.2730	96.0907	14.49	0.2268
20161207 06:02:10.24		5.3187	96.2203	15.20	0.0591
20161207 06:12:55.05		5.3307	96.1516	13.40	0.1731
20161207 10:21:53.25		5.2466	96.1017	13.29	0.1272
20161207 11:18:58.76		5.3063	96.1141	14.86	0.1142
20161207 16:05:38.77		5.4011	95.8135	13.13	0.8188
20161207 16:43:01.47		5.3272	96.0359	14.59	0.2227
20161207 17:59:38.94		5.3345	96.0641	13.48	0.1799
20161207 18:45:01.51		5.3997	96.0099	13.32	0.3805

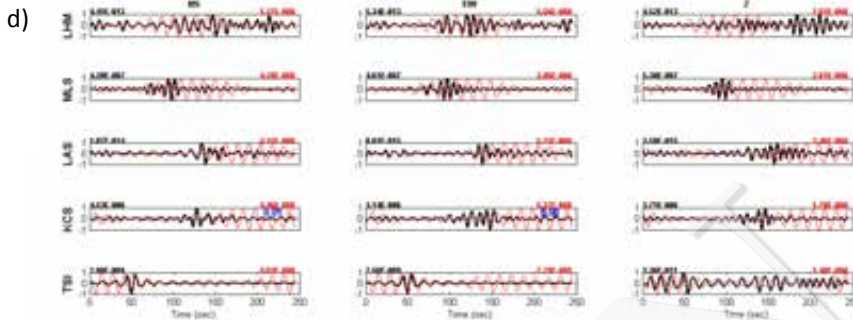


Gambar 18 Plot vertikal dari mainshock dan aftershock hasil re-picking

4.2 Penentuan Mekanisme Fokus Gempa Pidie-Aceh M_w 6.5

Penentuan solusi mekanisme fokus untuk gempa Pidie-Aceh M_w 6.5 dilakukan dengan metode *waveform inversion* menggunakan program ISOLA (Sokos dan Zahradník, 2008), dengan menggunakan lokasi hiposenter hasil *re-picking* pada studi ini. Hasil yang diperoleh menunjukkan gempa Pidie-Aceh mempunyai solusi mekanis fokus *strike-slip*. Dilihat dari distribusi *aftershock*, dapat diinterpretasi sebagai *right lateral strike slip* (sesar/patahan mengangan) (gambar 21).





Gambar 19 (a) Focal Mechanism untuk mainshock gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 dan data aftershock (data hiposenter hasil ynthetic Supendi & Nugraha, 2016) menggunakan program ISOLA (Sokos dan Zahradník, 2008) berdasarkan metode Moment Tensor Inversion. (b) Waveform fitting untuk mainshock, band pass filter 0.015 – 0.065 Hz. Waveform warna merah adalah kalkulasi (ynthetic), sedangkan waveform warna hitam adalah observasi. (c) Parameter focal mechanism dan waveform fitting untuk aftershock aftershock tanggal 07 Desember 2016 pukul 05:18 WIB dan (d) tanggal 09 Desember 2016 pukul 16:49 WIB, band pass filter 0.07 – 0.16 Hz. Waveform warna merah adalah kalkulasi (synthetic), sedangkan waveform warna hitam adalah observasi.

Satu minggu setelah gempa Pidie-Aceh, tim dari ITB, Unsyiah dan BMKG dibantu peralatan dari GFZ Postdam Jerman, melakukan pemasangan alat perekam gempa (seismometer) sebanyak 9 unit yang sekitar daerah Pidie dan daerah yang terdampak ditunjukkan pada gambar 22 dan tabel 7.



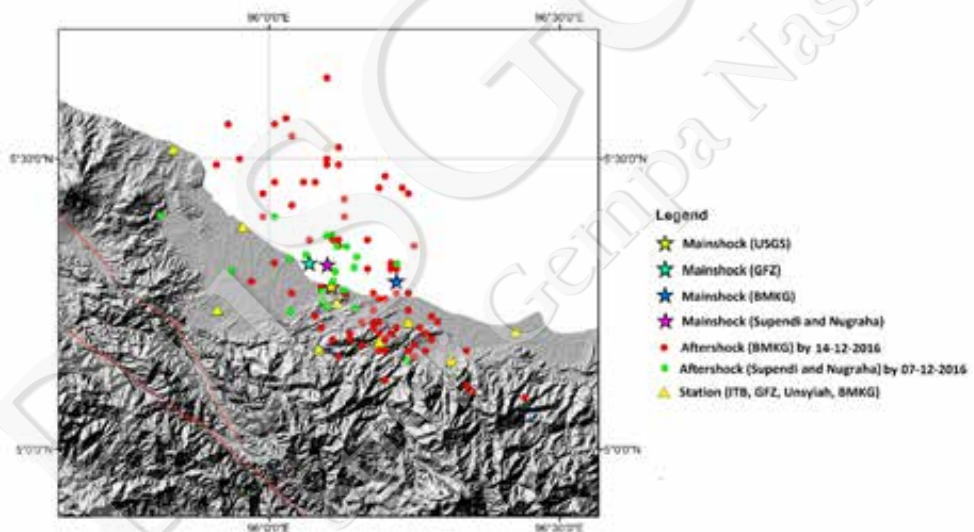
Gambar 20 Proses instalasi seismometer di wilayah Pidie yang melibatkan tim dari ITB, Unsyiah dan BMKG yang didukung peralatan dari GFZ Postdam Jerman. Terlihat pula jamuan minuman jahe dan keramah-tamahan dari masyarakat Aceh menerima kehadiran tim ini. (Foto dari Kadek Palgunadi Hendarawan dan Riskiray Nugroho).

Lokasi pemasangan seismometer di wilayah Pidie Jaya disampaikan pada tabel 7.

Tabel 8 Lokasi Instalasi Seismometer

Long (BT)	Lat (LU)
95.94	5.43
96.19	5.34
96.01	5.72
95.98	5.50
96.11	5.44
96.59	5.38
96.12	5.46
96.13	5.50
96.26	5.18
97.21	4.64

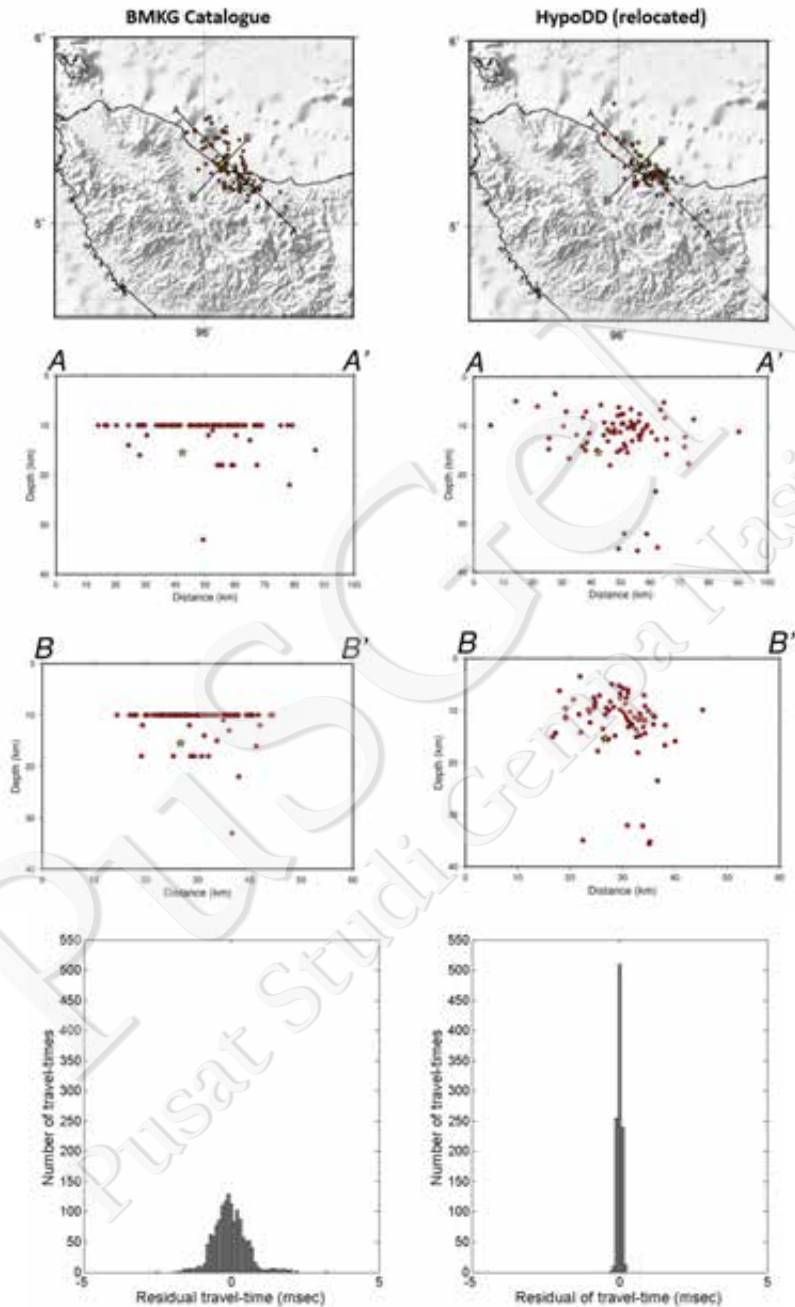
Plotting mainshock dari dari beberapa instansi seperti USGS, BMKG, GFZ dan Supendi & Nugraha (2016) dan *aftershock* dari BMKG serta hasil *re-pick* dari Supendi & Nugraha (2016) disampaikan dalam gambar 23.



Gambar 21 Peta *episenter* mainshock dari USGS (bintang kuning), GFZ (bintang hijau), BMKG (bintang biru), dan Supendi & Nugraha (2016) (bintang ungu) dan *aftershock* dari BMKG per 14 Desember 2016 (bulat merah) dan *aftershock* hasil *re-pick* per 7 Desember 2016 dari Supendi & Nugraha (2016).

4.3 Relokasi data BMKG tanggal 7-19 Desember 2016

Tambahan hasil *aftershock* katalog BMKG baik penampang horizontal dan vertikal dari tanggal 7-19 Desember 2016, ditunjukkan oleh gambar 24. Gempa *aftershock* tersebut direlokasi menggunakan metode *double-difference algorithm* dengan menggunakan program HypoDD (Waldhauser and Ellsworth, 2000) dengan menggunakan model kecepatan 1D AK135 (Kennett, 2005). Hasil relokasi berhasil memperbaiki kedalaman *fix depth* 10 km pada katalog BMKG. *Travel-time* residual sebelum dan sesudah relokasi memberikan residual *travel-time* yang lebih berkurang dibanding dengan *travel-time* BMKG.



Gambar 22 Potongan melintang (cross-section) aftershock Pidie Jaya tanggal 7-19 Desember 2016. Lebar penampang 50 km dan travel-time residual untuk aftershock gempa Pidie Jaya sebelum dan setelah relokasi (data: BMKG tanggal 7-19 Desember 2016)



4.4 Rangkuman

Gempa Pidie-Aceh terjadi pada 7 Desember 2016 dengan Magnitudo 6.5 (M_w) yang menyebabkan banyak korban jiwa dan kerusakan infrastruktur. Gempa 7 Desember 2016 ini diikuti oleh puluhan *aftershock*. Pada studi ini, tim POKJA Seismologi melakukan penentuan kembali waktu tiba (*repicking*) fasa gelombang P dan S untuk stasiun BMKG yang berada di Sumatra agar didapat hasil lokasi hiposenter yang lebih akurat. Hasil *repicking* waktu tiba P dan S kemudian dikontrol kualitasnya dengan menggunakan diagram Wadati. Hasil dari diagram Wadati menunjukkan *trend plot* yang linear dengan nilai V_p/V_s 1.77. Data waktu tiba tersebut kemudian menjadi input untuk penentuan lokasi hiposenter gempa menggunakan program Hypoellipse dengan model kecepatan gelombang seismik yang digunakan yaitu model global AK135.

Gempa *aftershock* dari hasil *repicking* memperlihatkan *event* gempa yang berkumpul di dekat *mainshock* dengan arah distribusi yang sama yaitu barat laut-tenggara. Hasil gempa *aftershock* yang didapat dari katalog BMKG juga memperlihatkan adanya distribusi *aftershock* yang berarah barat laut-tenggara dan menerus hingga ke laut. Selain penentuan lokasi dari hasil *repicking*, dilakukan pula relokasi gempa *aftershock* menggunakan algoritma *double-difference* yang memberikan *event* gempa yang lebih tercluster dibandingkan dengan posisi hiposenter BMKG. Selain itu, proses relokasi ini juga dapat merelokasi *fix depth* BMKG yaitu pada kedalaman 10 km.

Penentuan mekanisme fokus dari gempa Pidie dengan metode *waveform inversion* menggunakan program ISOLA menunjukkan bahwa gempa Pidie-Aceh mempunyai solusi mekanisme fokus *strike-slip* yang jika dilihat dari distribusi *aftershock*, dapat diinterpretasikan sebagai *right lateral strike slip* (sesar/patahan mengangan).

Untuk *monitoring* gempa dan studi lebih lanjut mengenai gempa tersebut, tim dari tim dari ITB, Unsyiah, dan BMKG dibantu peralatan dari GFZ Postdam Jerman, melakukan pemasangan alat perekam gempa (seismometer). Sebanyak 9 unit seismometer tersebut diletakkan di sekitar daerah Pidie dan daerah yang terdampak lainnya. Diharapkan hasil studi ini dapat digunakan untuk upaya mitigasi bencana gempa di wilayah tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada para peneliti di Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB dan PU-PuSGeN atas dukungan pada kegiatan ini, terutama biaya parsial operasional pada saat instalasi alat seismometer. Terima kasih kami ucapkan kepada tim Unsyiah dan tim BMKG yang sangat membantu pada saat instalasi seismometer di lapangan. Terima kasih kami ucapkan juga kepada GFZ Postdam Jerman yang telah meminjamkan alat pada studi. Terima kasih kami haturkan kepada BMKG atas data katalog dan *waveform* pada studi ini.



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



5. Data *Ground Motion*

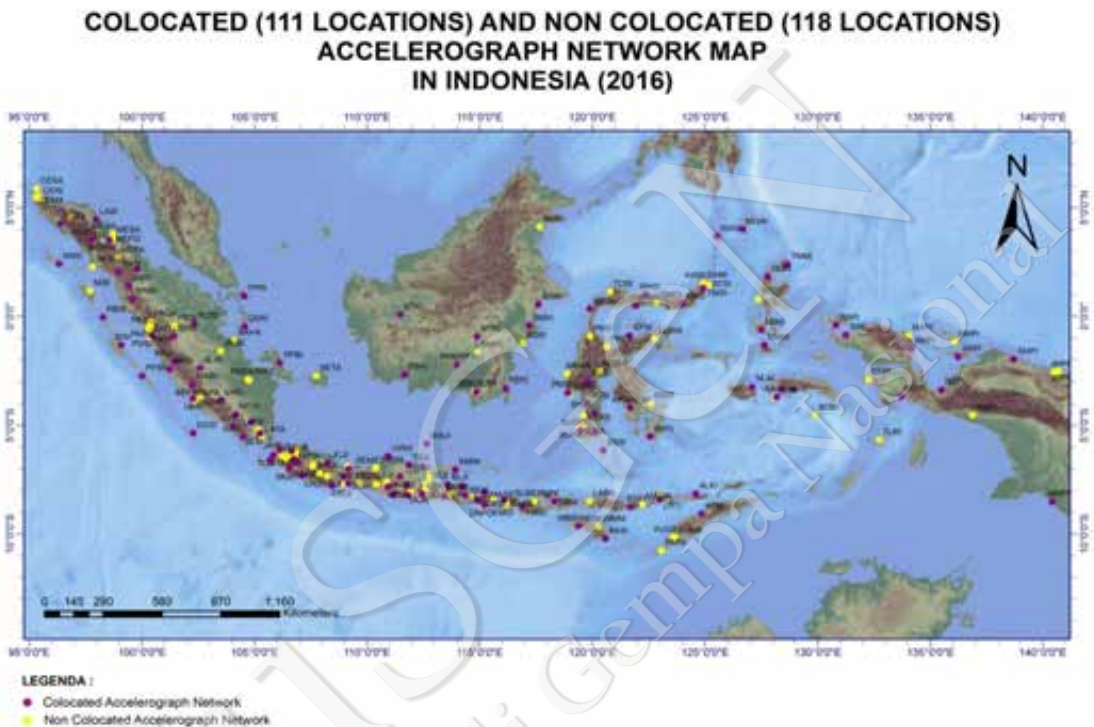
Ariska Rudyanto, Oriza Sativa, Sigit Pramono
Bidang Seismologi Teknik, BMKG

Dua minggu setelah gempa yang kuat menghancurkan wilayah Kabupaten Pidie Jaya dan wilayah Provinsi Aceh. Puluhan bangunan runtuh, ratusan bangunan rusak sedang, dan ribuan rumah rusak ringan. Mengacu pada Gambar 2, bab pendahuluan, terlihat prakiraan dampak gempa Pidie Jaya 6.5M, tanggal 7 Desember 2016. Dalam gambar terlihat kerusakan infrastruktur terkonsentrasi di wilayah Kabupaten Pidie Jaya, yang beribukota di Mereudu. Peta guncangan (*shakemap*) menunjukkan bahwa dampak gempa Pidie Jaya tersebut cukup luas dirasakan di Provinsi Aceh. Hal ini ditunjukkan dengan warna hijau yang menggambarkan skala intensitas gempa BMKG (SIG) II, yang setara dengan intensitas II-IV MMI. Pada wilayah yang berdekatan dengan episenter gempa (bertanda bintang) memperlihatkan perubahan ke warna kuning sampai dengan oranye yang menunjukkan mulai terdapat kerusakan bangunan dan infrastruktur di wilayah tersebut, yang setara dengan intensitas SIG III-I. Kerusakan infrastruktur ini tentu menimbulkan kerugian finansial yang sangat besar dan dalam beberapa kasus menyebabkan korban jiwa. Dalam banyak berita disebutkan kerusakan umumnya terjadi pada bangunan-bangunan 2-3 lantai dengan ketinggian sedang. Ini menimbulkan berbagai pertanyaan terkait keamanan dan kekuatan bangunan serupa di wilayah lain yang rawan bahaya gempa.

5.1 Rekaman Akselerograf

Salah satu tugas utama yang diemban oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah melakukan *monitoring* gempa di Indonesia dan menyajikan informasi terkait gempa di Indonesia secara cepat, akurat, dan tepat sasaran. Sejak tahun 2006 BMKG telah mengoperasikan jaringan *accelerograph*, untuk pengamatan gempa kuat. Jaringan akselerograf sampai dengan tahun 2016 berjumlah 229 stasiun dan menyediakan sumber potensial yang berguna untuk penelitian dan mitigasi gempa. Jaringan akselerograf BMKG menggunakan beberapa macam sensor yaitu Geodevice BBAS – 2, Metrozet TSA – 100 dan Nanometrics Titan series (Titan AG, Titan SMA, Titan Compact) dan dilengkapi dengan *digitizer* Nanometrics Taurus dan Trident disampaikan dalam gambar 25. Hampir semua akselerograf tersebut merupakan akselerograf 24-bit *full scale range* $\pm 2g$ dengan *sampling rate* 100 Hz dan penanda waktu otomatis GPS. Akselerograf ini merupakan sebaran jaringan akselerograf BMKG yang sudah terpasang sampai dengan tahun 2016. Jaringan *monitoring* gempa kuat ini di desain untuk mengirimkan data secara *real-time* dari setiap lokasi stasiun akselerograf ke kantor pusat BMKG di Kemayoran Jakarta. Sesuai dengan rencana strategis BMKG, jaringan ini akan dilengkapi kurang lebih 500 akselerograf yang terpasang di seluruh wilayah Indonesia. Jaringan akselerograf BMKG mencatat rekaman gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 pada 8 stasiun akselerograf. Gambar 25 memperlihatkan sebaran stasiun akselerograf pencatat gempa utama Pidie Jaya pada tanggal 7 Desember 2016. Gambar 26 memperlihatkan hasil analisis sinyal akselerograf pada 8 stasiun pencatat di sekitar wilayah Aceh. Stasiun akselerograf terdekat yang

merekam gempa Pidie Jaya ini berada pada Kota Lhokseumawe (LHMI) yang berjarak kurang lebih 72 km dari episenter gempa dan terletak pada lokasi batuan (dengan Vs30 lebih dari 750 m/s) mencatat percepatan maksimum sebesar 39,6 cm/s (gambar 27).



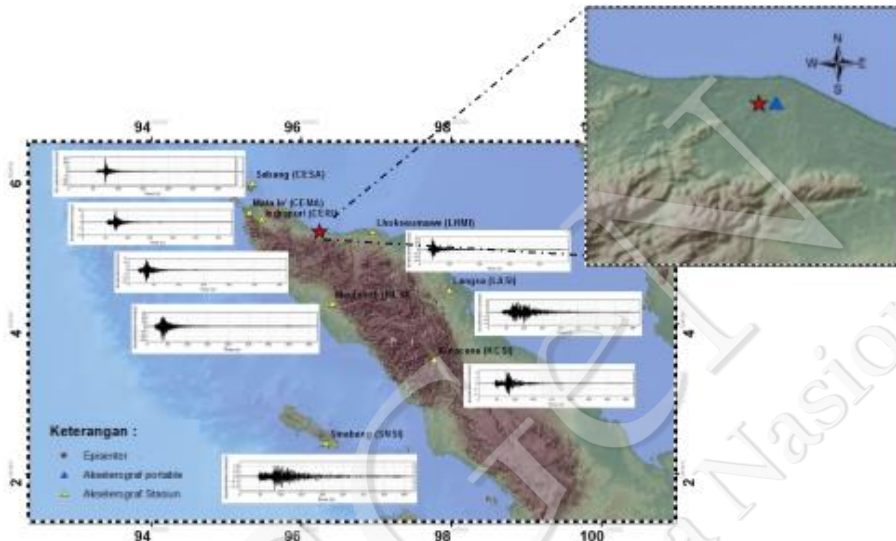
Gambar 23 Peta jaringan akselerograf BMKG sampai dengan tahun 2016

Kerusakan dan keruntuhan bangunan akibat gempa terjadi karena bangunan tidak disiapkan untuk mengantisipasi getaran tanah (*ground motion*) *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang ditimbulkannya. Besarnya getaran tanah akibat gempa dipengaruhi oleh tiga hal, sumber gempa (*source*), jalur penjalaran gelombang (*path*), dan pengaruh kondisi tanah setempat (*site*). Dapat dipahami bahwa sumber gempa yang besar dan dekat akan menimbulkan getaran tanah yang besar juga. Kondisi tanah setempat yang berupa endapan sedimen tebal dan lunak juga akan menimbulkan fenomena amplifikasi yang memperbesar nilai getaran tanah di permukaan.

Oleh sebab itu, rekaman akselerograf yang dekat dengan titik episenter gempa sangatlah penting untuk menganalisa kerusakan bangunan dan infrastruktur akibat gempa. Pada saat kejadian gempa utama Pidie Jaya 7 Desember 2016, BMKG tidak mempunyai rekaman yang berjarak dekat dengan lokasi episenter atau lokasi kerusakan terparah. Hal ini sangat disayangkan, karena kejadian gempa yang berlokasi dekat dengan daratan dan merusak sangatlah jarang. BMKG menurunkan tim survei untuk memasang akselerograf *portable* pada lokasi yang berdekatan dengan episenter atau lokasi dengan kerusakan bangunan parah. Pada gambar 4 lokasi akselerograf *portable* ditunjukkan dengan titik bulat berwarna biru. Tim survei



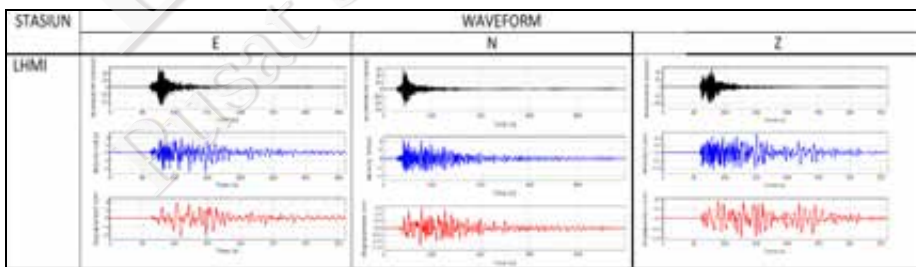
diberangkatkan pada tanggal 8 Desember 2016 dan bertugas selama 5 hari di lapangan. Tim berhasil merekam beberapa gempa susulan, di antaranya dirasakan dengan intensitas II – IV MMI.



Gambar 24 Sebaran stasiun akselerograf pencatat gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016

Tabel 9 Hasil analisa akselerograf gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016

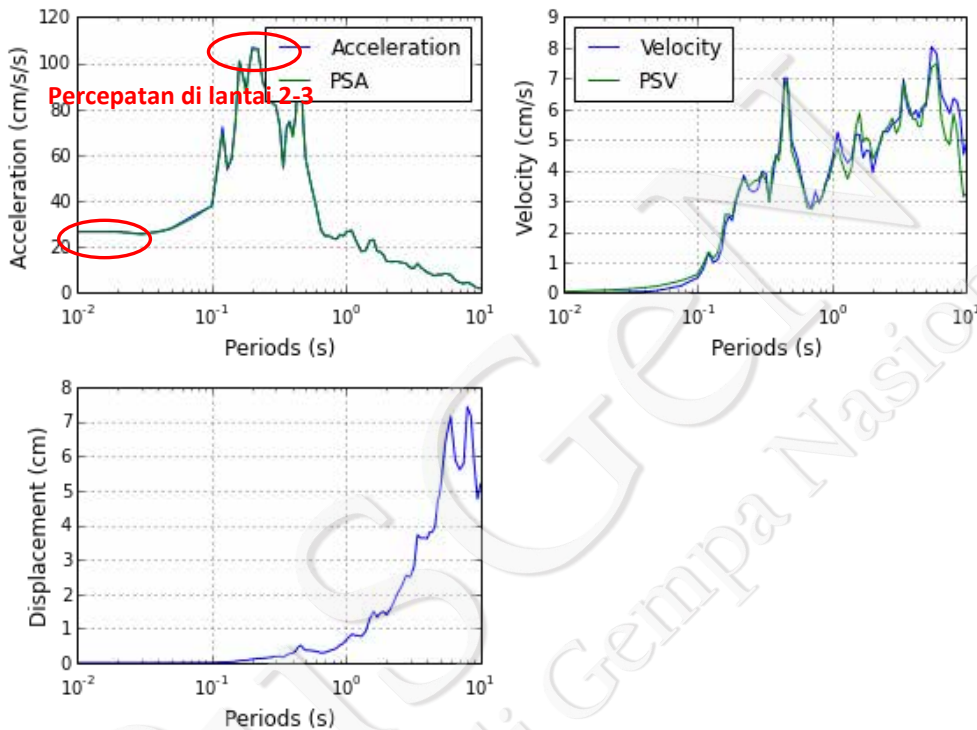
Gempa: Pidie Jaya, 07 Desember 2016, M _W 6.2 Lat: 5.25 S Long: 96.21 E, Mag: 6.2 ML, Depth: 15 Km, W. 400 Km Tenggara Kota Banda Aceh																			
STASIUN PENCATAT				Jarak				PGA (cm/s ²)				PGV (cm/s)				Uniforme Duration			
No	Stasiun	State	VS30 (m/s)	Lat (dd)	Long (dd)	Depth (km)	Dist (km)	1	5	10	Max	1	5	10	2	5	10	2	5
1	PORTOMAHES	SMW	760	5.110	96.940	15.400	71.400	71.870	28.420	39.360	24.124	39.360	1.481	3.138	1.380	12.240	10.840	10.240	56.740
2	STASIUN SIKAPURI ALZHI	Q281	800.84	6.004	95.403	80.600	81.170	10.760	14.821	8.718	18.875	0.794	0.942	0.448	2.300	1.480	0.450	10.100	10.250
3	STASIUN PANGALAN	Q104	289.00	5.436	95.294	102.800	105.700	8.811	9.380	6.489	11.119	0.301	0.248	0.209	0.240	0.200	0.101	4.850	3.700
4	MEULABOH	NA31	380.00	4.281	96.404	112.640	120.620	105.250	21.834	12.488	37.184	2.570	2.180	0.848	8.200	1.470	1.718	18.630	21.450
5	STASIUN LAMARU	CE54	121.70	5.878	95.887	118.400	123.430	14.911	10.440	6.271	18.208	1.388	0.911	0.418	1.040	0.880	0.340	0.280	17.890
6	LANGSA KOTA	LAR0	170.00	4.457	97.890	111.870	121.880	6.240	5.877	6.251	6.512	1.808	1.712	0.980	0.880	0.000	0.000	40.880	0.000
7	MUTIGAH	Q230	748.00	5.522	97.770	108.620	108.280	1.884	2.740	2.380	2.810	0.841	0.628	0.270	0.880	0.500	0.280	0.880	0.500
8	SEBERANG	SNV0	400.54	5.459	96.127	103.560	113.500	1.118	0.818	0.728	1.070	0.380	0.323	0.201	0.880	0.500	0.280	0.880	0.500



Gambar 25 Rekaman sinyal akselerograf gempa Pidie Jaya pada stasiun LHMI

Gambar 26 menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum di stasiun LHMI setara dengan percepatan yang dialami di pondasi bangunan pada umumnya, karena stasiun LHMI terletak pada lokasi batuan (V_{s30} lebih dari 750 m/s), ditunjukkan oleh lingkaran oranye. Dari *spectra* percepatan (*acceleration*) tersebut dapat terlihat nilai maksimum percepatan dicapai pada

periode 0.2-0.3 detik, yang umumnya merupakan periode natural dari gedung berlantai 2-3 (pada gambar ditunjukkan dengan lingkaran merah). Terbukti kerusakan parah dari bangunan 2-3 lantai dapat dijelaskan secara fisis.



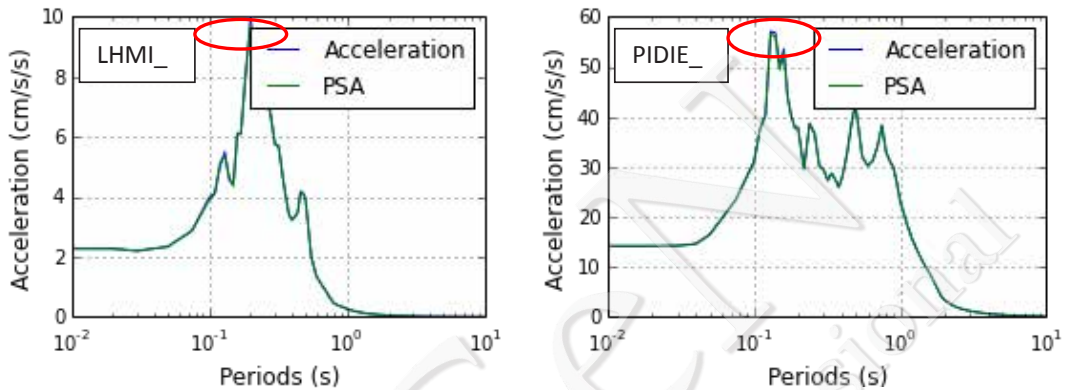
Gambar 26 Spectra gelombang percepatan dan kecepatan gempa Pidie Jaya pada stasiun LHMI

Hasil analisis sementara “*quick analysis*” dari rekaman data akselerograf lapangan (*portable* Pidie) yang dipasang BMKG dapat dilihat pada gambar 28 berupa adanya peluruhan/atenuasi percepatan tanah maksimum pada periode 0.2-0.3 detik. Terdapat perbedaan signifikan pada lokasi akselerograf *portable* Pidie Jaya sebesar ± 6 kali dari lokasi akselerograf LHMI yaitu lokasi stasiun akselerograf terdekat dengan episenter. Dapat diambil perbandingan kasar yang sama pada gempa utama tanggal 7 Desember 2016 terdapat amplifikasi sekitar 6x dari percepatan tanah maksimum pada pondasi bangunan antara stasiun LHMI dan *portable* Pidie. Diperkirakan percepatan tanah maksimum 6x percepatan tanah maksimum yang direkam di stasiun LHMI (29,369 cm/s) yaitu setara dengan 176,214 cm/s. Nilai percepatan tanah ini cukup untuk merusak sebuah bangunan gedung dengan konstruksi baik.

Hasil analisis tamplifikasi percepatan tanah berdasarkan jarak (perbandingan antara nilai percepatan di lokasi kerusakan dan di stasiun LHMI yang mencapai 6x perbesaran) dan analisis amplifikasi berdasarkan periode gedung maka dapat dipahami adanya kerusakan parah yang ekstensif pada gedung dan bangunan berlantai 2-3 di wilayah Kabupaten Pidie Jaya, terlebih



pada gedung-gedung yang dibangun tidak sesuai kaidah pembangunan gedung sesuai peraturan yang ada.



Gambar 27. Perbandingan spectra akselerograf LHMI dan spectra acelerograph stasiun portable di Pidie untuk gempa Pidie M 5.3 Tanggal 11 Desember 2016 Pukul 09:50:35 WIB



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



6. Observasi Deformasi Permukaan Tanah: Pergeseran Tanah dan Indikasi Retakan Sesar di Permukaan

Supartoyo¹, Sri Hidayati¹, Rahma Hanifa², M. Ridwan³, Amir Hamzah Isa⁴, Wahyu Triyoso², Masyhur Irsyam², Danny Hilman Natawidjaja⁵, Andri Cipto Utomo⁶, Amalfi Omang¹, Haunan Afif¹, Subandriyo¹, Akhmad Solikhin¹, Kristianto¹, Pandu Adi Minarno¹, Merry Cristina Natalia¹, Bagoes Dwi Ramdhani², Refi Rizqi Ramadian², Dyah Ayu Retnowati, Irwan Meilano², Endra Gunawan², Gayatri Indah Marliyani⁷

¹Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi PVMBG-BADAN GEOLOGI

²Pusat Penelitian Mitigasi Bencana, Institut Teknologi Bandung

³Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian PU

⁴Dinas Pekerjaan Umum Pidie Jaya

⁵Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

⁶Badan Nasional Penanggulangan Bencana

⁷Universitas Gajah Mada

Survei deformasi permukaan dilakukan di Kabupaten Pidie Jaya berdasarkan pengamatan di lapangan mengalami kerusakan terparah. Survei dilakukan dengan menyusuri lintasan di sepanjang sesar yang diperkirakan oleh tim PuSGeN menyebabkan gempa di Pidie Jaya berdasarkan data *mainshock* dan *aftershock* dan geomorfologi. Sesar ini diberi nama sesar Pidie Jaya (Krueng Beuracan). Secara umum bahaya yang ditimbulkan oleh gempa terbagi menjadi tiga, yaitu bahaya akibat guncangan; bahaya akibat retakan atau pergeseran tanah; dan bahaya akibat likuifaksi. Dalam bab ini akan dipaparkan hasil survei pemetaan deformasi permukaan tanah yang berupa pergeseran tanah dan rekahan yang bisa digunakan sebagai indikator sesar di permukaan.

Survei dilakukan dengan memetakan lokasi dan dimensi pergeseran tanah dan struktur serta rekahan di permukaan. Peralatan yang dipergunakan adalah kompas geologi, meteran, GPS tipe navigasi, kamera, alat tulis, dan peta dasar. Survei dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran detail pada lokasi deformasi permukaan (pergeseran, rekahan) yang diperkirakan merupakan indikasi sesar permukaan. Survei dilakukan secepat mungkin oleh beberapa tim PuSGeN yaitu Tim Tanggap Darurat (TTD) Badan Geologi (BG), tim PUPR, tim ITB, serta tim PU Pidie Jaya. Beberapa jejak retakan tanah, pergeseran tanah, dan likuifaksi tidak dapat teramati dengan baik karena di beberapa lokasi telah dilakukan penimbunan dan pengaspalan kembali. TTD BG tiba di Banda Aceh sejak Rabu tanggal 7 Desember 2016 malam, dan pagi harinya (7 Desember 2016) langsung melakukan survei dampak gempa. Tim lainnya melakukan survei pada rentang waktu 10 s.d. 20 Desember 2016 secara bergantian, tim dari BNPB membantu melakukan observasi dengan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) berupa *drone*, terutama di daerah Pasar Ikan Pangwa.

Hasil survei menunjukkan beberapa manifestasi deformasi di permukaan diperkirakan merupakan manifestasi dari sesar Pidie Jaya. Berdasarkan hasil survei, daerah yang



menunjukkan indikasi kuat manifestasi sesar di permukaan terbagi menjadi empat daerah, yaitu (1) Panteraja, (2) Kuta Pangwa, (3) Simpang Pangwa, dan (4) Pasar Ikan Pangwa. Keempat lokasi tersebut juga berasosiasi dengan tingkat kerusakan terbesar pada bangunan. Lokasi titik-titik pengamatan dan manifestasi deformasi permukaan yang diamati dirangkum pada Tabel 10 dan gambar 29

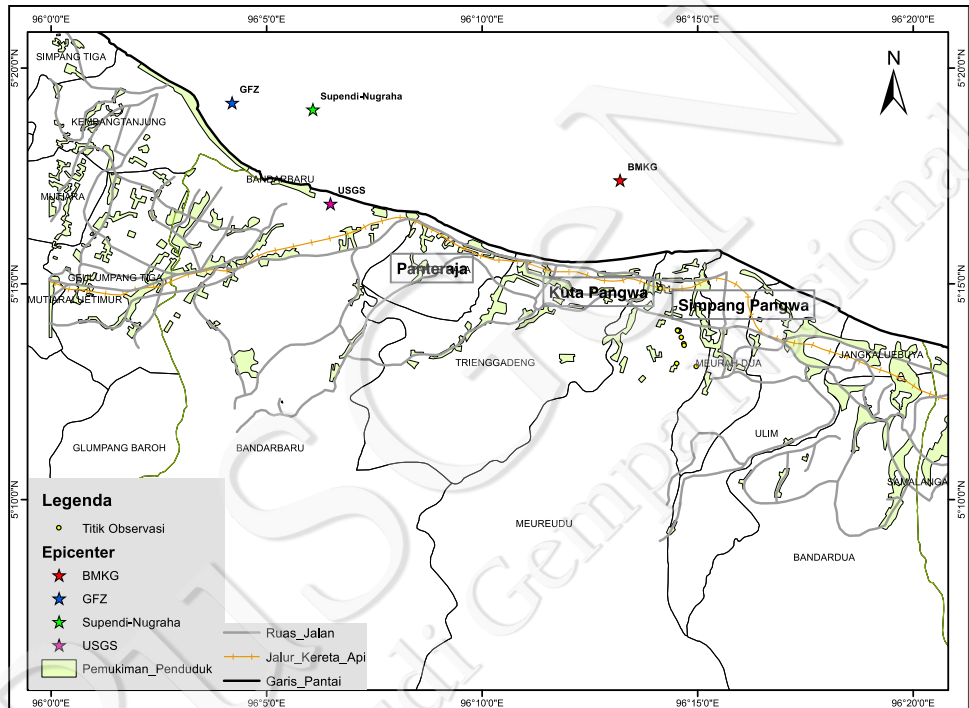
Tabel 10 Lokasi Survei Manifestasi Deformasi Permukaan pada Desember 2016

ID	Long	Lat	Lokasi	Keterangan
Pr 1	96.138611	5.276959	Panteraja	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan menganan
Pr 2	96.138600	5.273790	Panteraja	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan menganan
Pr 3	96.138670	5.271084	Panteraja	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan menganan
Pr 4	96.139143	5.263605	Panteraja	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan menganan
Pr 5	96.139539	5.257938	Panteraja	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan menganan
Bw 1	96.220049	5.245985	Kuta Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan mengiri
Bw 2	96.220097	5.242922	Kuta Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan mengiri
Bw 3	96.220190	5.240409	Kuta Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan mengiri
Bw 4	96.220299	5.236305	Kuta Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan mengiri
Sp 1	96.222933	5.244366	Simpang Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan mengiri
Sp 2	96.223240	5.241610	Simpang Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan mengiri
Sp 3	96.223178	5.238785	Simpang Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan mengiri
S9	96°13'58.38"E	5°15'4.86"N	Pasar Ikan Pangwa	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan Mengiri
S1	96°14'37.68"E	5°13'45.18"N	Belakang Kantor Bupati	Tidak tampak
S2	96°14'34.14"E	5°13'54.90"N	Pematang Sawah	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan
S3	96°14'34.26"E	5°13'54.12"N	Pematang Sawah	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan
S4	96°14'34.74"E	5°13'54.66"N	Pematang Sawah	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan
S5	96°14'34.50"E	5°13'54.06"N	Pematang Sawah	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan
S6	96°14'32.58"E	5°13'55.32"N	Pematang Sawah	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan
S7	96°14'32.52"E	5°13'54.60"N	Pematang Sawah	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan



S8	96°14'31.20"E	5°14'9.06"N	Jalan	Orientasi U-S dengan Indikasi Patahan
S10	96°14'40.98"E	5°13'36.30"N	Jalan	Tidak tampak
S11	96°14'41.50"E	5°13'34.23"N	Jalan	Tidak tampak
S12	96°14'8.22"E	5°14'53.34"N	Jalan	Orientasi B-T

Note: U: utara, S: Selatan, B: Barat, T: Timur



Gambar 29 Peta area observasi deformasi permukaan.

6.1 Observasi di Panteraja

Lokasi sesar permukaan teramati pada dua titik yang terletak pada koordinat 96.13860° BT dan 5.27379° LU (GP017) serta 96.13892° BT dan 5.2738167° LU (GP018). Pada titik GP018 teramati adanya retakan yang membelah jalan dengan arah retakan Utara-Selatan. Hasil observasi menunjukkan, panjang retakan 30 meter, dengan pergeseran **menganan** sebesar 3cm (gambar 30). Sisi selatan retakan naik sebesar 1 cm. Bangunan yang berada tepat di selatan retakan mengalami rusak berat, di lokasi ini juga ditemui likuifaksi dengan dimensi yang cukup besar.

Pada titik GP017, terdapat indikasi adanya retakan yang memotong tegak lurus jalan berarah Utara-Selatan, dan adanya *offset* menganan dengan panjang 3,5 cm. Jejak retakan ini masih dapat ditelusuri sepanjang 45 m dari arah utara jalan hingga ke selatan. Terdapat tiga lokasi

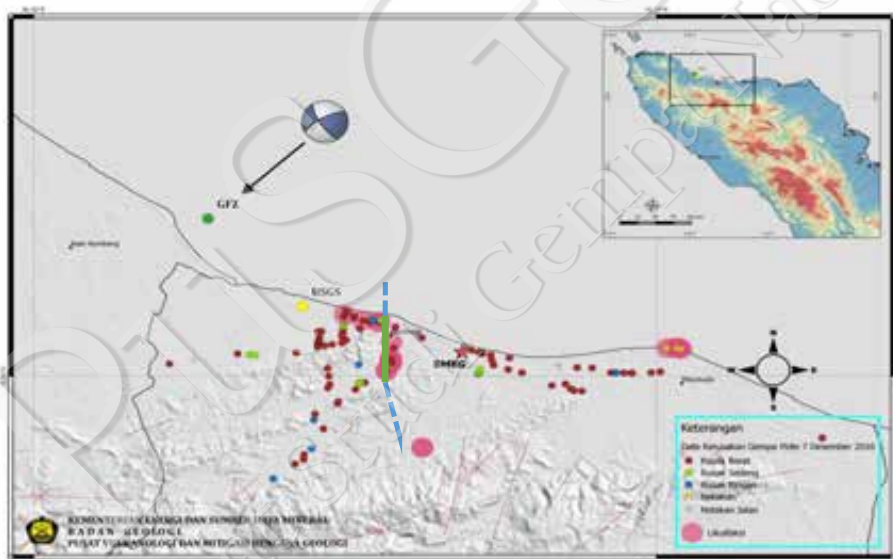
retakan yang berarah sama yaitu utara-selatan di sekitar retakan utama. Di sekitar lokasi retakan pada bagian utara dan selatan jalan terdapat likuifaksi dicirikan dengan keluarnya pasir halus berwarna abu-abu kehijauan di antara celah retakan. Arah retakan likuifaksi ini pada bagian utara jalan relatif utara-selatan. Pada bagian selatan likuifaksi dicirikan munculnya gunung pasir kecil (*sand boil*). Retakan ini mengakibatkan kerusakan bangunan. Gambar 31 menunjukkan lokasi terjadinya likuifaksi oleh gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016. Diduga terdapat sesar menganan melalui titik Panteraja ini, berarah utara-selatan sebagaimana diperlihatkan pada garis putus-putus biru di gambar 29.



Gambar 28 Retakan yang diamati di Panteraja yang mengakibatkan kerusakan bangunan. Kiri: GP017 (Supartoyo dkk, 2016), Kanan: GP018 (Foto: Hidayati, 2016).



Gambar 29 Kenampakan likuifaksi yang diamati di Panteraja (Foto: Supartoyo, 2016)



Gambar 30 Dugaan Sesar Menganan di Panteraja, Kabupaten Pidie Jaya, ditunjukkan oleh garis putus-putus biru (Hidayati dkk, 2016)

Rekahan lainnya pada koordinat $5^{\circ}16'23.62''\text{U}$ $96^{\circ}8'11.17''\text{T}$ di daerah Panteraja terobservasi sebagai terlihat pada gambar 33.



Gambar 31 Observasi Retakan di Panteraja (Foto: Isa, 2016)

6.2 Observasi di Kuta Pangwa

Pada lokasi ini diamati retakan yang memotong tegak lurus jalan dan berarah utara – selatan, menunjukkan indikasi kuat penyesaran di permukaan lokasi pengamatan berada pada koordinat $96,22014^{\circ}$ BT dan $5,2429^{\circ}$ LU. Pergeseran atau *offset* yang dapat diamati relatif kecil dengan arah mengiri dan panjang 0,5 - 1 cm (Gambar 34). Jejak retakan ini masih dapat ditelusuri sepanjang 700 m, mulai dari utara jalan ke selatan ke masjid Jami Quba dan bangunan pesantren. Di sekitar lokasi retakan utama ini juga terdapat tiga retakan yang berarah sama yaitu utara – selatan. Pada retakan utama sebagian aspal tampak terangkat pada bagian kanan. Retakan ini menyebabkan robohnya masjid Jami Quba dan mengakibatkan bangunan pesantren yang ada di sebelah selatannya rusak berat seperti dalam gambar 35 dan gambar 36.



Gambar 32 Sesar permukaan di desa Kuta Pangwa mengakibatkan robohnya Masjid Jami Quba. Terlihat aspal bagian kanan agak terangkat. (Foto: Supartoyo, 2016)



Gambar 33 Indikasi pergerakan mengiri dari tembok dan kolom yang berpindah. (Foto: Supartoyo, 2016)



Gambar 34 Pesantren yang terletak di selatan Masjid Jami Quba mengalami rusak berat. (Foto: Supartoyo, 2016)

6.3 Obervasi di Simpang Pangwa

Lokasi sesar permukaan terdapat pada koordinat $96,22324^{\circ}$ BT dan $5,24161^{\circ}$ LU. Indikasinya terdapat retakan yang memotong tegak lurus jalan berarah utara – selatan, dan adanya *offset* mengiri panjang 0,5 - 1 cm. Jejak retakan ini masih dapat ditelusuri sepanjang 60 m. Terdapat tiga lokasi retakan yang berarah sama yaitu U – S, satu retakan berarah N 40° E dan satu retakan menyerong yang berarah U – S seperti ditunjukkan dalam gambar 37 dan gambar 38. Gambar 39 menunjukkan peta lokasi sesar permukaan di Panteraja, Kuta Pangwa, dan Simpang Pangwa. Retakan ini mengakibatkan robohnya dua ruko dan rumah penduduk yang ada di samping ruko rusak berat.



Gambar 35. Terlihat tiga retakan berarah U-S di simpang Pangwa (warna merah). (Foto: Supartoyo, 2016)



Gambar 36. Retakan menyerong relatif berarah U - S mengakibatkan robohnya ruko yang terletak di utara jalan (pada gambar di belakang dump truk). (Foto: Supartoyo, 2016)



Gambar 37Peta lokasi sesar permukaan beserta foto-fotonya yang teridentifikasi di daerah (1) Panteraja, (2) Kuta Pangwa, dan (3) Simpang Pangwa

6.4 Observasi di Pasar Ikan Pangwa

Di Jalan depan Pasar Ikan Pangwa pada koordinat $96^{\circ}13'58.38''$ BT dan $5^{\circ}15'4.86''$ LU (titik S9, gambar 41) terdapat beberapa retakan di jalan yang memotong jalan menyerong pada arah utara-selatan. Terdapat *offset* yang teramati berarah mengiri dengan panjang *offset* sekitar 5-10 cm. Jejak retakan ini membuat rumah di sisi jalan retak tetapi tidak sampai rusak berat. Retakan ini menerus di sisi utara belakang rumah, kurang lebih sepanjang 55 meter. Titik ini berada pada jalur dugaan sesar PuSGeN yang dianalisis secara morfologi (Natawidjaja, 2016). Ditemukan 2 lokasi lain di sisi selatan pada arah utara-selatan yaitu pada titik S8 dan titik S2-S7 di pematang sawah dekat kantor bupati. Gambar 40 menunjukkan lokasi lokasi survei deformasi permukaan, sedangkan gambar 41 sampai dengan gambar 45 menunjukkan titik-titik pengamatan deformasi permukaan.



Gambar 38 Lokasi Survei Manifestasi Deformasi Permukaan Dugaan Sesar Pidie Jay di lokasi (4) Pasar Ikan Pangwa, yang berada di jalur dugaan sesar PuSGeN secara morfologi (Hanifa dkk, 2016)



Gambar 39 Lokasi Survei Deformasi Permukaan di titik S9 di Pasar Ikan Meureudu. Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan, Wahyu Triyoso PuSGeN, Foto oleh Wahyu Triyoso, Foto Drone oleh Andri BNPB. Terlihat offset sekitar 8 cm dengan pola mengiri pada pergeseran marker jalan.



Gambar 40 Lokasi Survei Deformasi Permukaan di titik S9 di Pasar Ikan Pangwa. Survei oleh Amir Hamzah, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN, Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.



Gambar 41 Lokasi Survei Deformasi Permukaan di titik S9 di Pasar Ikan Pangwa. Foto oleh Amir Hamzah Isa



Gambar 42 Lokasi Survei Deformasi Permukaan sisi Utara rumah titik S9 di Pasar Ikan Pangwa. Foto oleh Bagoes Dwi Ramdhani.



Gambar 43 Rekahan mengarah barat daya-timur laut di sisi utara-timur Jembatan Pangwa. Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.

6.4.1 Observasi Titik S8

Pada koordinat $96^{\circ}14'31.20''\text{BT}$ dan $5^{\circ}14'9.06''\text{LU}$ terobservasi retakan jalan berarah menyerong utara-selatan sepanjang kurang lebih 15 meter. Gambar 47 menunjukkan lokasi survei deformasi permukaan pada titik S8.



Gambar 44 Lokasi Survei Surface Rupture di titik S8. Utara menghadap ke sisi kanan foto. Foto: Amir Hamzah Isa.

6.4.2 Observasi Titik S2-S7 di Pematang Sawah

Lokasi berikutnya yang diobservasi yaitu di sekitar pematang sawah di lokasi S2-S7. Di sini ditemukan rekahan pada dinding saluran irigasi pembuang yang retak searah dengan jalur Sesar Pidie Jaya. Kami menemukan 3 garis rekahan yaitu S2-S3, S4-S5, dan kemudian S6-S7. Titik S6-S7 merupakan rekahan terbesar yang ditemui di antara retakan yang ada di lokasi tersebut. Gambar 47 menunjukkan lokasi survei S2 – S7, sedangkan gambar 48 sampai dengan gambar 51 menunjukkan detail kerusakan saluran pada lokasi survei.



Gambar 45 Lokasi Observasi S2-S7 Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN



Gambar 46 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S6 dan S7. Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN, Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.



Gambar 47 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S6. Survei oleh Amir Hamzah Isa, Rahma Hanifa, M. Ridwan PuSGeN, Foto Drone oleh Andri Cipto Utomo.



Gambar 48 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S4. Foto: Tim survei ITB/ Pokja Geodesi PuSGeN.



Gambar 49 Lokasi Observasi Deformasi Permukaan di S7 (kiri) S2-S7. Foto: Tim survei ITB/ Pokja Geodesi PuSGeN

Pengamatan rekahan ini terlihat sebagai rekahan yang baru di 6 titik, dan berorientasi utara-selatan dengan N345. Pengamatan lapangan mengindikasikan pergerakan akibat tensional *stress* yang dialami di daerah tersebut.

6.4.3 Observasi Titik S1 Dekat Kantor Bupati Pidie Jaya

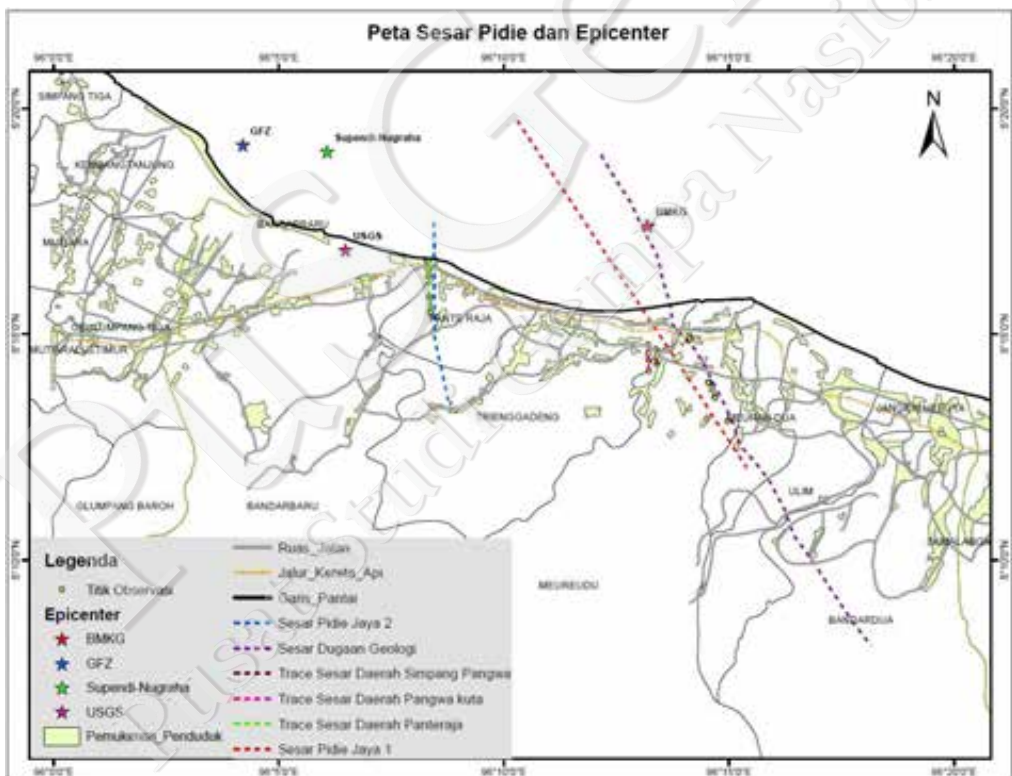
Di lokasi ini tidak ditemukan indikator deformasi permukaan walaupun diperkirakan sesar Pidie Jaya melewati lokasi ini. Kemungkinan besar ujung dari sesar yang bergerak berada pada lokasi ini sehingga deformasi permukaan tidak intensif lagi.

6.5 Ringkasan

- Berdasarkan hasil survei tim gabungan PuSGeN, teridentifikasi empat lokasi yang berindikasi sebagai sesar permukaan, yaitu daerah (1) Pantareja, (2) Kuta Pangwa, (3) Simpang Pangwa, dan (4) Pasar Ikan Pangwa. Keempat lokasi sesar permukaan tersebut telah mengakibatkan kerusakan bangunan pada jalur yang dilalui.
- Sesar permukaan di Panteraja diindikasikan oleh retakan yang memotong tegak lurus jalan berarah u – s, dan adanya *offset* mengangan dengan panjang 3,5 cm. Di sekitar lokasi retakan pada bagian utara dan selatan jalan terdapat likuifaksi.
- Di Kuta Pangwa, sesar permukaan diindikasikan oleh retakan yang memotong tegak lurus jalan dan berarah u – s, dan setidaknya ada tiga lokasi retakan yang berarah sama.
- Di Simpang Pangwa terdapat retakan yang memotong tegak lurus jalan berarah u – s, dan adanya *offset* mengiri panjang 0,5-1cm yang diindikasikan sebagai sesar permukaan. Selain itu, terdapat tiga lokasi retakan yang berarah sama yaitu u– s, satu retakan berarah N 40° E dan satu retakan menyerong yang berarah u– s.
- Di Pasar Ikan Pangwa, terdapat retakan yang memotong jalan berarah u – s dengan *offset* mengiri sekitar 5-10 cm. Jejak retakan ini membuat rumah di sisi jalan retak namun tidak sampai rusak berat, dan dapat ditelusuri kembali di sisi utara belakang rumah, kurang lebih sepanjang 55 meter. Titik ini berada pada jalur dugaan sesar PuSGeN yang dianalisis secara morfologi (Natawidjaja, 2016) dan ditemukan 1 lokasi lainnya di sisi utara dan 2 lokasi lainnya di sisi selatan pada arah utara-selatan.

- f. Sesar permukaan yang diobservasi dianalisis merupakan sesar konjugat minor pada satu sistem atau zona sesar Pidie Jaya. Retakan mengiri menunjukkan *conjugate fault* yang bersifat sinistral. Pada gempa 6.5 magnitude, retakan yang sampai ke permukaan meninggalkan jejak yang kecil yang merupakan konjugat sistem sesar yang kompleks.
- g. Dari hasil analisis observasi sesar permukaan, disimpulkan terdapat 2 jalur sesar permukaan Pidie Jaya, (1) Dugaan Sesar 1 yang melalui Daerah Pangwa, dan (2) Dugaan Sesar 2 yang melalui daerah Panteraja, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 52.
- h. Hasil observasi ini masih memerlukan analisis lanjut untuk memahami sesar penyebab Gempa Pidie Jaya.

Peta hasil interpretasi lokasi dan orientasi sesar Pidie Jaya di permukaan berdasarkan pemetaan deformasi permukaan di Panteraja (1), Kuta Pangwa (2), Simpang Pangwa (3), dan Pasar Ikan Pangwa (4) serta Ringkasan peta lokasi dugaan sesar Pidie Jaya berdasarkan observasi lapangan disampaikan dalam Gambar 51 dan 52.



Gambar 50 Peta yang menunjukkan interpretasi lokasi dan orientasi sesar Pidie Jaya di permukaan berdasarkan pemetaan deformasi permukaan di Panteraja(1), Kuta Pangwa (2), Simpang Pangwa (3), dan (4) Pasar Ikan Pangwa (Supartoyo dkk, 2016 dan Hanifa dkk, 2016)



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



7. Observasi Geodetik dan Pemodelan Deformasi Gempa Pidie Jaya 2016

Irwan Meilano¹, N. Rahma Hanifa¹, Susilo², Agustan³, Endra Gunawan¹, Hasanuddin Z. Abidin^{2,1}, Nasruddin⁴, Ayu Nur Safi'², Yustisi Ardhitasari Lumban Gaol², A. Sulaiman³, Bagoes Dwi Ramdhani¹, Refi Rizqi Ramadan¹, Suchi Rahmadhani¹, Alwidya Angga Savitri¹, Putra Maulida¹, Rio Raharja¹

¹Institut Teknologi Bandung (ITB)

²Badan Informasi Geospasial (BIG)

³Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi (BPPT)

⁴Badan Pertanahan Nasional Kabupaten Pidie

Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik terkait sumber dari gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 maka dilakukan analisis dari data pengamatan geodetik serta data pendukung lainnya di sekitar area gempa. Data pengamatan geodetik terdiri dari pengamatan menggunakan instrumen *Global Positioning System* (GPS) dan analisis data *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR). Sedangkan data spasial dan non-spasial lainnya yang bermanfaat dalam mendukung analisis yaitu survei lapangan untuk identifikasi dugaan patahan penyebab gempa, serta survei respon dari masyarakat.

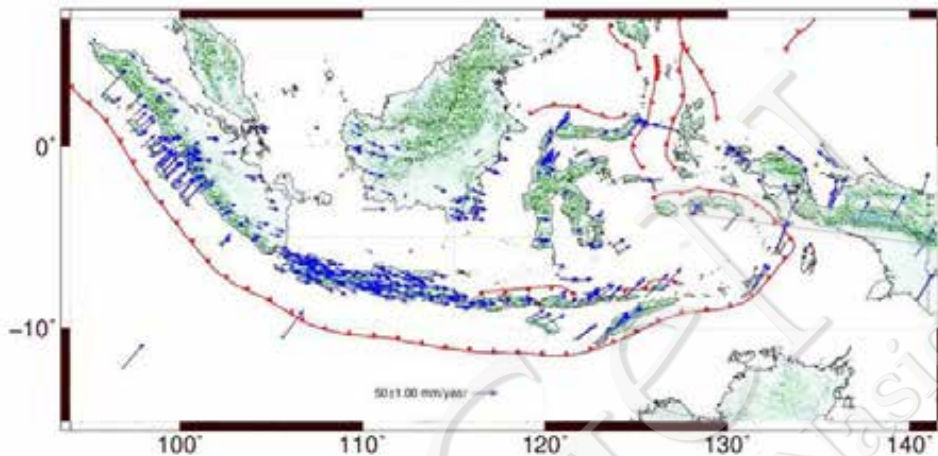
Pengamatan geodetik menggunakan GPS dilakukan secara survei berkala pada 10 s.d. 15 Desember 2016. Survei lanjutan dilakukan pada tanggal 17-21 Desember 2016 dengan melakukan pengamatan GPS secara kontinu. Pengamatan GPS dilakukan bersamaan dengan survei identifikasi kelurusan patahan sumber gempa. Survei kelurusan sesar dilakukan berdasarkan dugaan bahwa sumber gempa belum teridentifikasi Peta Pemutakhiran Gempa Nasional. Survei dilakukan di beberapa titik sepanjang garis sesar Pidie Jaya yang dikeluarkan oleh hasil diskusi PuSGeN pada tanggal 7 Desember 2016 seperti pada gambar 4. Hasil survei Sesar Pidie Jaya dibahas pada bab 6.

Pada laporan ini akan dijelaskan kondisi tektonik di Indonesia, khususnya Sumatra berdasarkan pengamatan geodetik terbaru, yang dilanjutkan dengan detail kondisi deformasi pascagempa (*postseismic deformation*) di wilayah Aceh sebagai dampak dari gempa-gempa besar sebelumnya. Kemudian dilanjutkan dengan pembahasan hasil awal dari pengolahan data INSAR. Dalam laporan ini dijelaskan juga pemodelan awal sumber gempa Pidie Jaya berdasarkan pengamatan deformasi koseismik gempa, yang dilanjutkan dengan memberikan bukti ilmiah bahwa daratan Aceh mengalami penambahan tegangan (stress) sebagai akibat gempa 2004.

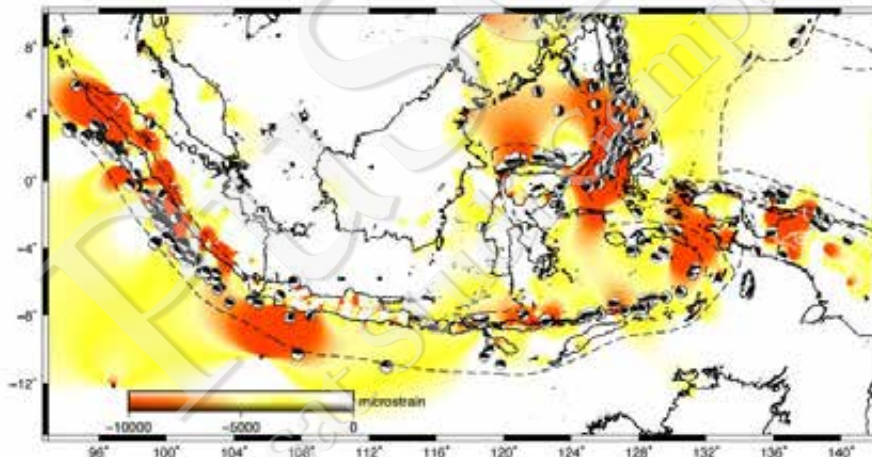
7.1 Update tektonik sumatra dari laju regangan (strain) secara geodetik

Kecepatan pergerakan tektonik Indonesia berdasarkan data pengamatan GPS (Susilo, 2016) yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) hingga tahun 2016 (telah bebas dari pengaruh gempa) memperlihatkan bahwa secara umum, Pulau Sumatera mengalami dorongan dari subduksi lempeng Australia. Vektor kecepatan pergeseran hasil pengamatan GPS kemudian dapat digunakan untuk mendapatkan nilai regangan (gambar 54). Hasil perhitungan regangan

menunjukkan adanya nilai pemendekan (ditunjukkan dengan warna merah) dibagian utara pulau Sumatra. Nilai pemendekan yang besar di utara Sumatra merupakan indikasi adanya akumulasi energi di lokasi tersebut.



Gambar 51 Kecepatan pergerakan tektonik di Indonesia berdasarkan data GPS BIG hingga 2016 (Susilo, 2016)

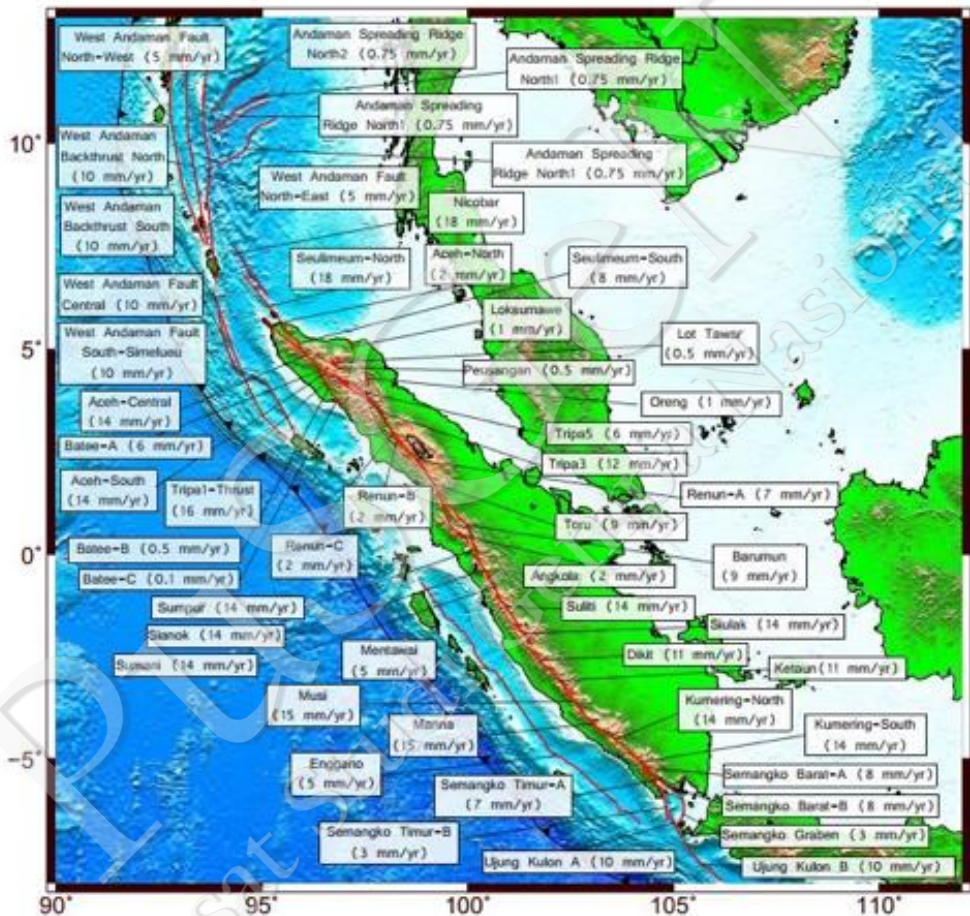


Gambar 52 Pemodelan Regangan berdasarkan data GPS (Meilano dkk, 2016)

Nilai dari regangan pada gambar 54, juga menunjukkan adanya pemendekan di sekitar sesar Sumatra. Sehingga menjadi masukan dalam pendefinisian lokasi dan segmentasi sesar aktif di Sumatra. Pada peta Gempa Nasional tahun 2010 terdapat 19 segmen sesar di Sumatra, tetapi menggunakan data hasil penelitian terbaru teridentifikasi sebanyak 55 segmen. Tetapi dalam segmentasi yang telah dibuat tersebut belum memasukkan Sesar Pidie Jaya. Setelah Gempa Pidie Jaya, tim Pemutakhiran Gempa Nasional menambahkan 2 segmen sesar yaitu segmen Pidie Jaya dan segmen Bireun, sehingga total menjadi 57 segmen sesar di Sumatera yang

teridentifikasi.

Data geodetik yang tersedia di sekitar Sumatra digunakan untuk mengestimasi laju-geser (*slip rate*) segmen-segmen. Hasil estimasi dari laju geser di Sumatra diperlihatkan pada gambar 55. Beberapa hasil dari estimasi memiliki rentang ketidakpastian yang besar, hal ini terjadi karena kualitas dan sebaran pengamatan yang terbatas.



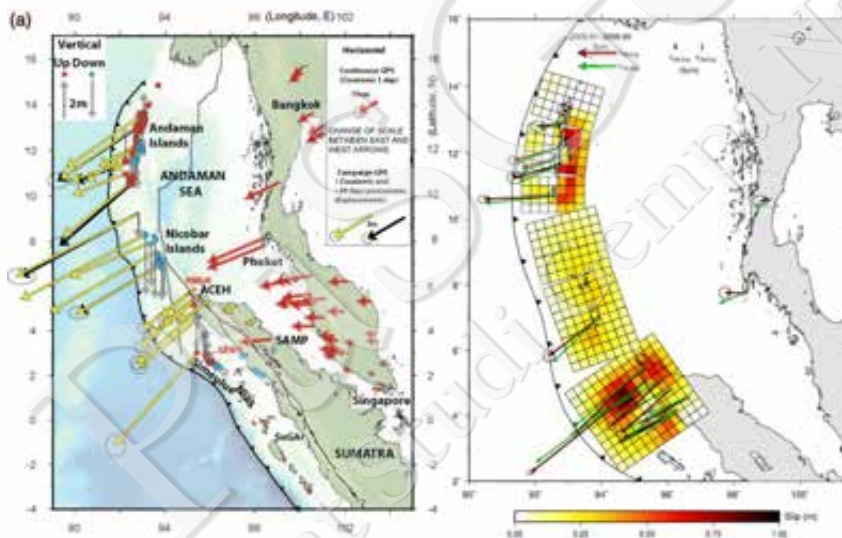
Gambar 53 Peta Pemutakhiran Slip Rate di Segmen-segmen Sesar di Sumater (Pokja Geodesi PuSGeN, 2016)

7.2 Kondisi deformasi pasca gempa terkini di wilayah Aceh

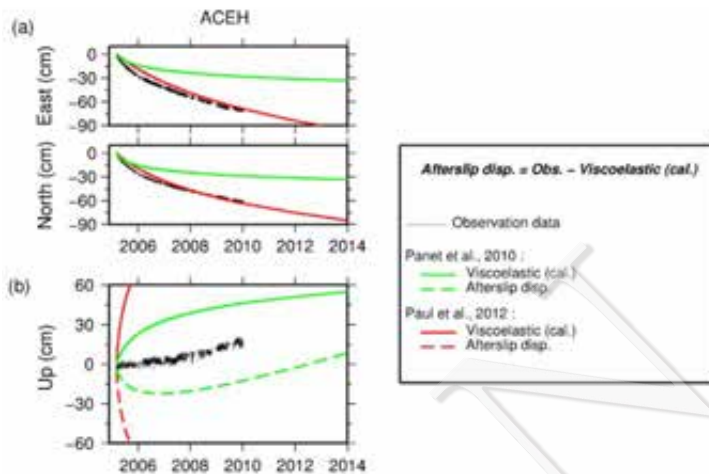
Penelitian terakhir menggunakan data *Global Positioning System* (GPS) menunjukkan bahwa sebagian besar dari wilayah utara dari Sumatra sedang mengalami deformasi lanjutan (deformasi postseismik) pascagempa Aceh tahun 2004 dengan magnitude 9.2 (Gunawan dkk., 2014). Selain akibat gempa Aceh 2004 beberapa gempa lainnya seperti gempa Nias 2005 serta

gempa Samudra Hindia 2012 juga mengakibatkan adanya deformasi pascagempa yang signifikan di Wilayah Utara Sumatra, terutama Provinsi Aceh.

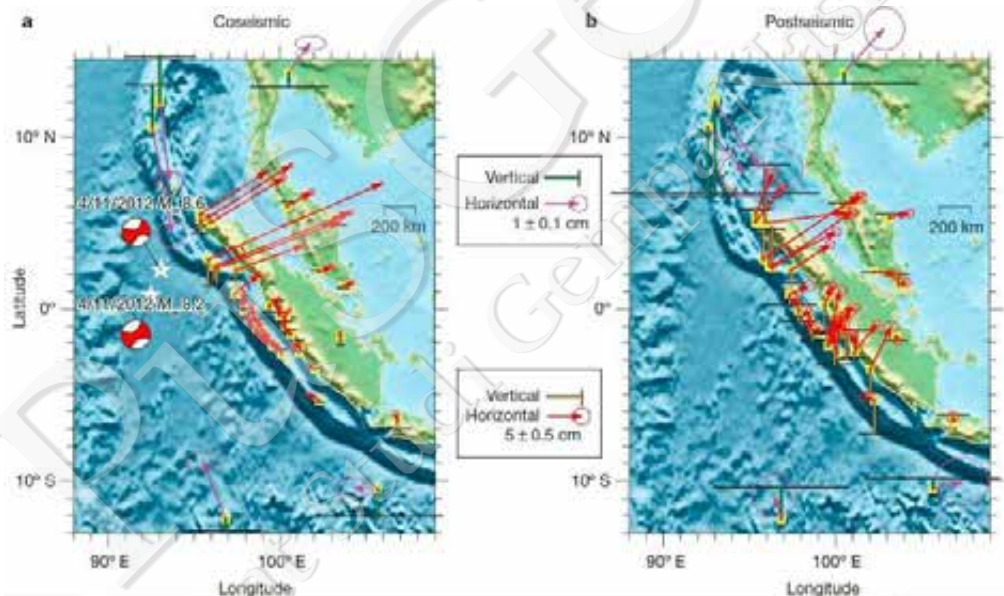
Gambar 56 menunjukkan deformasi koseismik dan postseismik gempa Aceh 2004 dalam rentang waktu 2005 sampai 2010, besaran deformasi koseismik di wilayah utara Sumatra mencapai lebih dari 2m. Sedangkan deformasi koseismik, dalam rentang waktu 5 tahun, telah hampir mencapai 1m yang ditunjukkan oleh gambar 57 dalam bentuk deret waktu harian titik Aceh yang terobservasi. Sedangkan Gambar 58 menunjukkan deformasi *koseismik* gempa Aceh 2012 yang mencapai 12cm di wilayah Aceh. Pergeseran paska gempa menunjukkan pergeseran yang searah dengan koseismik, Hal ini mengindikasikan mekanisme pergeseran *afterslip* (salah satu mekanisme dari deformasi postseismik) yang mempunyai kecepatan dengan arah yang sama dengan saat gempa terjadi (deformasi koseismik) ke bidang robekan gempa. Analisis lanjutan menunjukkan bahwa selain *afterslip*, deformasi postseismik berupa relaksasi *viskoelastic* di bagian asthenosphere bumi terus terjadi dan memberikan efek deformasi dalam radius global.



Gambar 54 (kiri) deformasi koseismik Gempa Aceh 2004 (Chlieh dkk, 2007), (kanan) deformasi postseismik Gempa Aceh 2004 pada rentang waktu 2005 – 2010 (Gunawan dkk, 2014)



Gambar 55 Deret Waktu Harian Titik Aceh yang terobservasi data GPS pada 2005 – 2010 (Gunawan dkk, 2014)



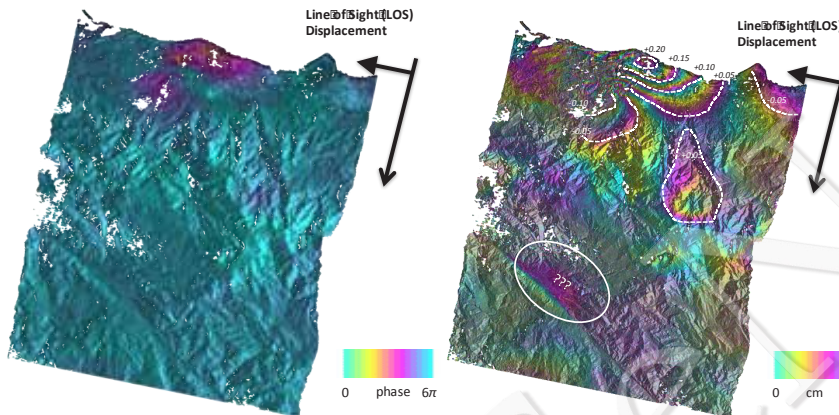
Gambar 56 Deformasi coseismik dan postseismik Gempa Aceh 2012 (Hu et al 2016).

7.3 Pengamatan INSAR

Aktifitas deformasi permukaan saat gempa Pidie juga terdeteksi oleh citra satelit SAR (satelit ALOS-2) dengan metode interferometri (Gambar 59, Agustan dkk 2016). Metoda INSAR mengamati terjadinya deformasi saat gempa dengan melihat perbedaan phase gelombang yang dipantulkan kembali ke satelit, dari data sebelum dan sesudah gempa.

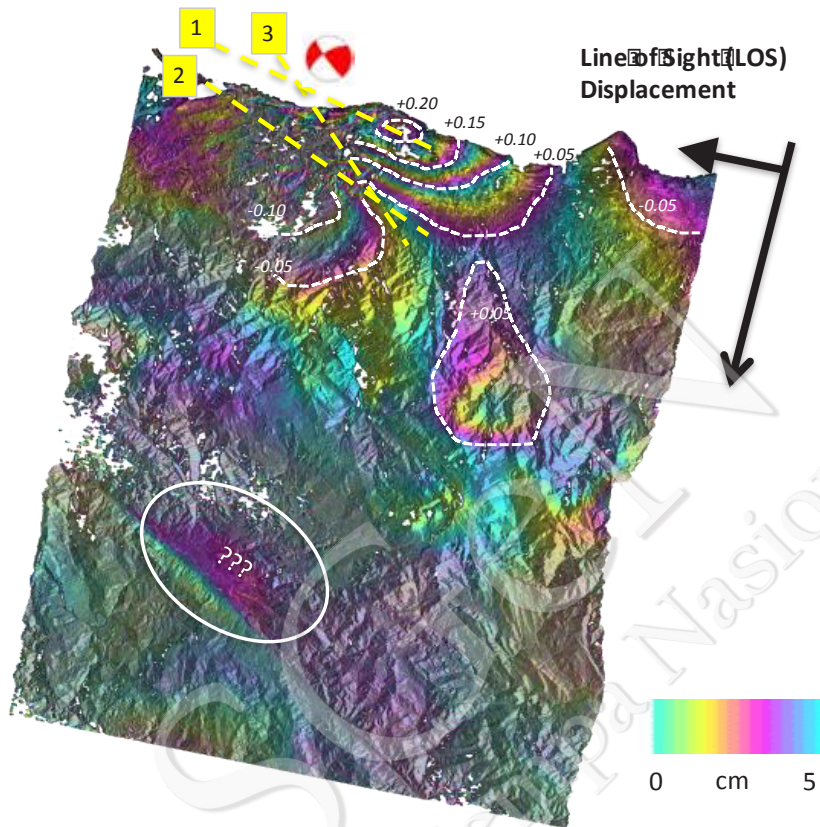
Data yang digunakan sebelum gempa yaitu data tanggal 7 November 2014, dibandingkan dengan data setelah gempa yaitu data tanggal 13 Desember 2016. Hasil dari analisis data INSAR

memperlihatkan adanya deformasi di sekitar lokasi gempa Pidie Jaya dengan besaran mencapai hingga 20 cm.



Gambar 57 Deformasi permukaan yang terdeteksi oleh citra satelit SAR pada Gempa Pidie Jaya 2016 (Agustan dkk, 2016).

Berdasarkan pola pergeseran yang dihasilkan dari data INSAR tersebut, dapat dilakukan analisis sumber gempa Pidie Jaya. Hasil analisis data INSAR menghasilkan 3 kandidat sesar sebagaimana diperlihatkan pada gambar 60. Dasar pemilihan ke-3 sumber ini berdasarkan pola dari lingkaran deformasi (*fringe*) yang dihasilkan. Kandidat yang lebih memungkinkan yaitu kandidat sesar no 2 dan no 3, yang ditarik pada sisi *fringe* yang terlihat. Adanya kemungkinan bidang berbeda ini dikarenakan pengamatan INSAR hanya mencakup bagian selatan dari sumber gempa. Bagian utara dari sumber gempa terdapat di sisi laut, sehingga tidak memiliki pola pergeseran yang teramati oleh INSAR. Pengamatan langsung di lapangan seperti robekan gempa, sebaran kerusakan bangunan dan pergeseran dari pengamatan GPS dapat membantu untuk memilih bidang gempa yang paling sesuai.



Gambar 58 Tiga Kandidat Sesar Pidie Jaya berdasarkan data geodetic INSAR

7.4 Pemodelan deformasi koseismik gempa

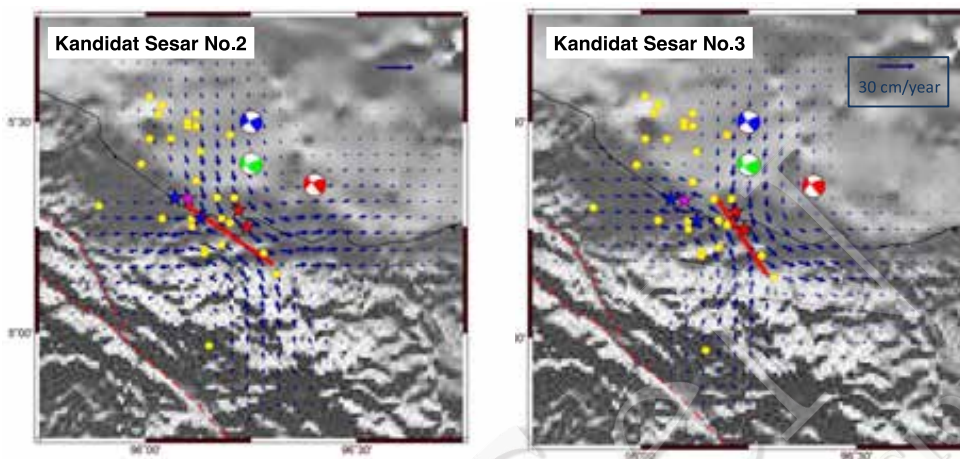
Besarnya pergeseran di permukaan dapat dihitung secara teoritis, apabila geometri dari bidang gempa serta besarnya pergeseran pada sumber telah diketahui. Proses perhitungan pergeseran teoritis dilakukan dengan menggunakan pemodelan dislokasi pada bidang elastis. Untuk mengetahui pergeseran di permukaan akibat gempa bidang Pidie Jaya, pemodelan dislokasi elastis dilakukan dengan parameter kandidat sesar no 2 (kiri) dan kandidat sesar no 3 (kanan). Hasil pemodelan kemuka (*forward modeling*) menunjukkan terjadi pergeseran koseismik hingga 20 mm di dekat Sesar Pidie Jaya (gambar 61).

Pemodelan dislokasi elastic dengan kandidat sesar no 2 dilakukan dengan parameter:

- *Top Depth* : 2 km
- *Strike* : 123°; *Dip* : 90°, *Rake* : 0°
- *Length* : 28 km; *Width* : 30 km; *Coseismic Slip*: 0.7 m

Sedangkan pemodelan dislokasi *elastic* dengan kandidat sesar no 3 dilakukan dengan parameter:

- *Top Depth* : 2 km
- *Strike* : 149°; *Dip* : 90°, *Rake* : 180°
- *Length* : 24 km; *Width* : 30 km; *Coseismic Slip*: 0.7 m



Gambar 59 Pemodelan Deformasi Koseismik Gempa Pidie Jaya 2016

7.5 Pengamatan GPS Kontinyu Gempa Pidie

Untuk mendapatkan nilai pergeseran permukaan yang sesungguhnya diperlukan pengamatan GPS secara kontinyu dan berlokasi dekat dengan sumber gempa. BPN memiliki titik GPS yang beroperasi secara kontinyu di Kota Sigli, Kabupaten Pidie, dan merekam t pergeseran koseismik dari Gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016. Hasil awal deret waktu harian dari titik CORS BPN di Kabupaten Pidie (PDIE) diperoleh dari pengolahan statik dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT. Deret waktu dari titik PDIE tersebut secara jelas memperlihatkan pergeseran koseismik pada gempa Pidie Jaya, kurang lebih sekitar 8 mm ke arah utara, sekitar 25 mm ke arah barat, dan sekitar 4 mm kenaikan permukaan tanah. Hasil ini merupakan hasil awal yang proses datanya sedang dalam pengolahan data lebih lanjut.

7.6 Instalasi Pengamatan GPS Kontinyu Temporer Gempa Pidie

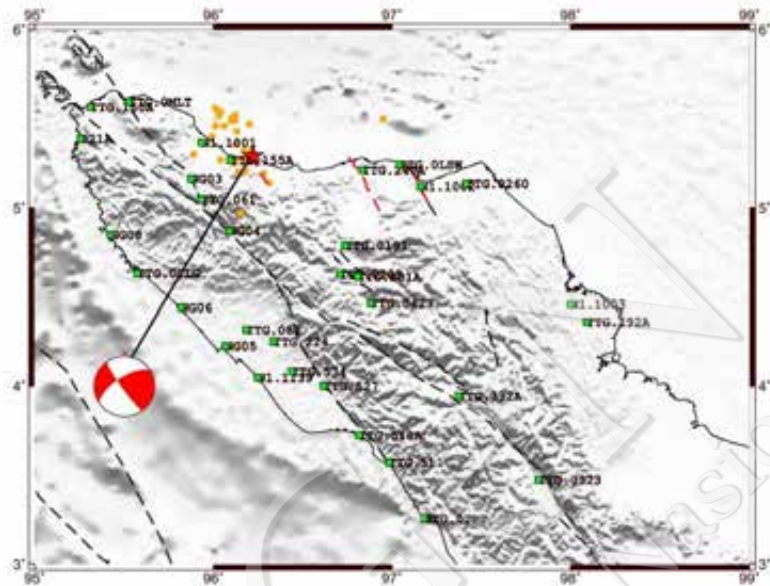
Data regional GPS yang dimiliki oleh BIG, BPN dan jaringan lainnya tidak memiliki jaringan GPS yang cukup lokal di dekat Sesar Pidie seperti terlihat pada gambar 62, sehingga diperlukan adanya pengamatan GPS yang baru di sekitar Sesar Pidie dan area terdampak gempa.

Survei GPS bertujuan untuk pengamatan deformasi *pasca* gempa Pidie 7 Desember 2016, pemodelan deformasi postseismic gempa Pidie 7 Desember 2016, membantu mendapatkan parameter sumber gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 yang lebih baik.

Untuk keperluan mendapatkan data deformasi sesaat sesudah gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016, tim GPS ITB/PuSGeN memasang 2 alat GPS; satu alat di sisi timur Sesar Pidie yaitu di Kantor Pekerjaan Umum Kabupaten Pidie Jaya (titik PUPJ) pada tanggal 10 Desember 2016 serta satu alat di sisi Barat yaitu di Meunasa Meucat (titik MCPJ) pada tanggal 11 Desember (Tabel 10). Selanjutnya pada hari Sabtu, 17 Desember 2016, BIG melakukan penambahan pemasangan alat *monitoring* GPS di Kantor PLN Meureudu (PLPJ) serta di Kantor PLN



Beureunun (PLBN). Keempat pengamatan GPS ini direncanakan akan dipasang selama 1 hingga 2 bulan secara kontinu dengan *sampling rate* 30 detik.

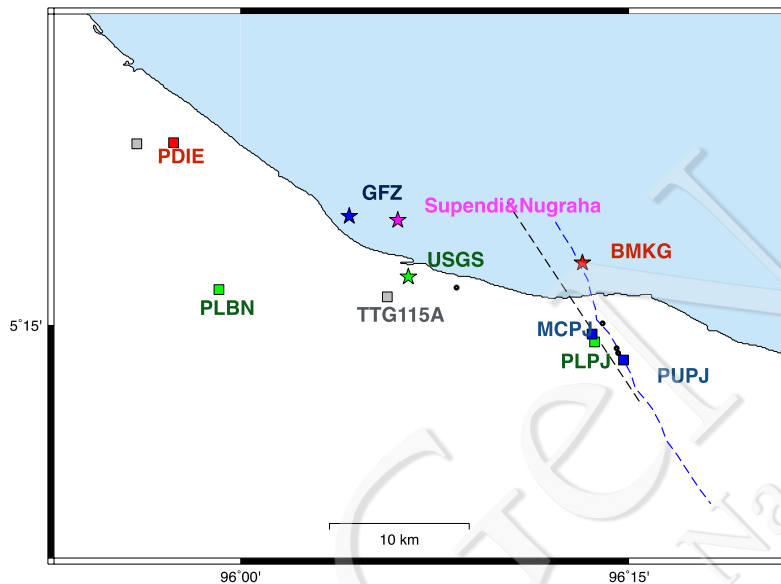


Gambar 60 Sebaran Jaringan Pengamatan GPS milik BIG (warna hijau), jaringan GPS yang dipasang ditunjukkan pada warna biru, bintang merah adalah epicenter dan garis putus-putus merah adalah lokasi sesar dari PuSGeN. (Pokja Geodesi PuSGeN)

Tabel 11. Lokasi pengamatan GPS untuk Gempa Pidie Jaya (Pokja Geodesi PuSGeN)

ID	Long	Lat	Placemark	Instansi	Description
PUPJ	96.24641 E	5.22743 N	Kantor PU	ITB	Dipasang di Dak
MCPJ	96.22619 E	5.24412 N	Meunasa Meucat	ITB	Dipasang di Dak
PLPJ	96.22778 E	5.23905 N	Kantor PLN	BIG	Dipasang di Dak
			Meureudu	BIG	
PLBN	95.98613 E	5.27276 N	Beureunun		Dipasang di Dak
PDIE	95.956964746	5.367228812	Pidie	BPN	Stasiun Kontinu

Lokasi pemasangan jaringan pengamatan GPS seperti disampaikan pada Tabel 10 ditunjukkan pada Gambar 63 sampai dengan Gambar 68.



Gambar 61 Lokasi Pemasangan GPS di Pidie Jaya; warna biru adalah instalasi oleh ITB, warna hijau adalah instalasi oleh BIG, warna merah adalah Titik BPN, warna abu-abu adalah titik campaign BIG namun belum dilakukan pengamatan ulang. Garis putus-putus hitam adalah lokasi sesar berdasarkan data INSAR dan garis biru putus-putus adalah sesar hasil interpretasi geologi Pidie Jaya. Epicenter Gempa Pidie Jaya ditunjukkan oleh bintang merah. (Pokja Geodesi PuSGeN)



Gambar 62 Titik PUPJ di atap Kantor PU. (Foto: Pokja Geodesi PuSGeN)



Gambar 63 Penampang 4 Arah Mata Angin Titik PUPJ di Rooftop Kantor PU Pidie Jaya (Foto: Pokja Geodesi PeSGeN)



Gambar 64 Titik MCPJ di Meunasa Meucat, Desa Meucat (Foto: Pokja Geodesi PuSGeN)



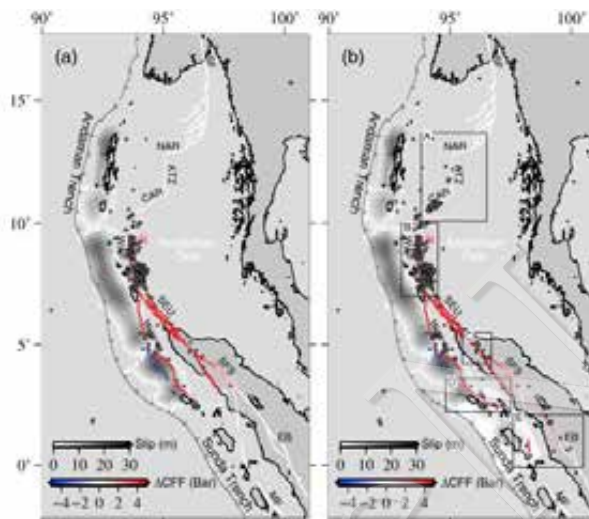
Gambar 65 Penampang 4 Arah Mata Angin MCPJ di rooftop Meunasa Kantor Desa Meucat (Foto: Pokja Geodesi PuSGeN)



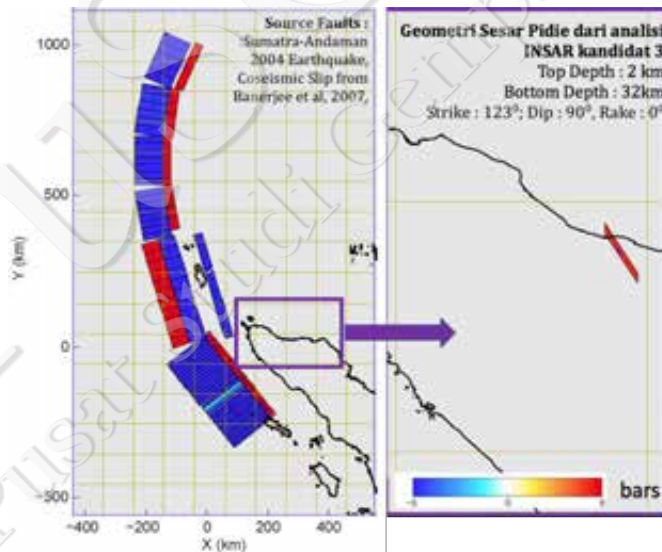
Gambar 66 Instalasi GPS oleh BIG di Kantor PLN Meureudu (PLPJ) serta di Kantor PLN Beureunun (PLBN)
(Foto: Susilo)

7.7 Bukti Daratan Aceh mengalami penambahan tegangan (*stress*) akibat gempa 2004 dan 2012

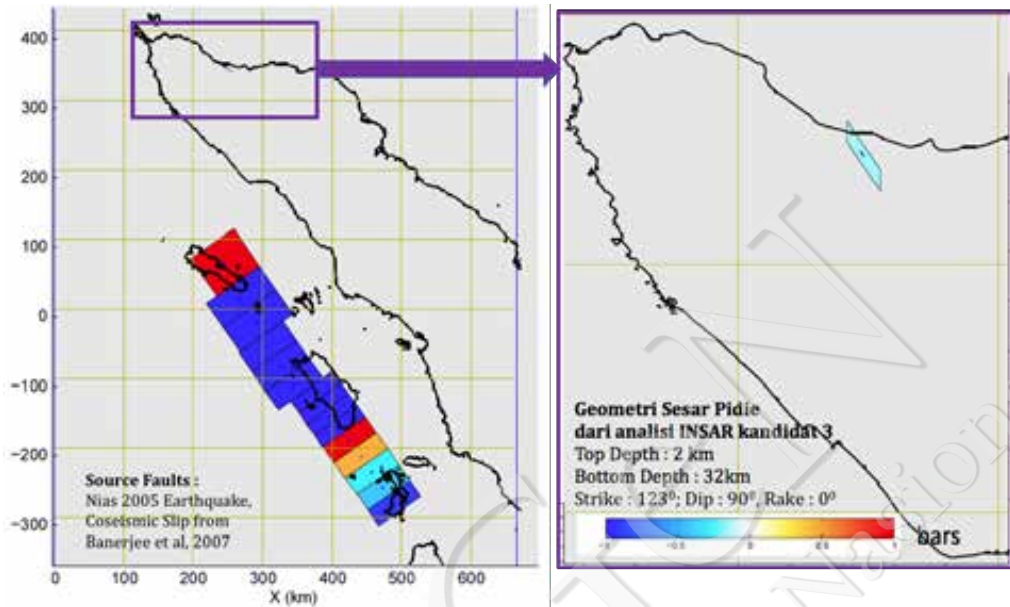
Suatu gempa dimasa lalu akan meningkatkan tegangan di sekitar sumber gempa, dan memungkinkan terpicunya sumber gempa lainnya. Beberapa penelitian menyatakan adanya potensi tegangan tektonik yang semakin membesar di bagian utara Sumatra akibat terjadinya transfer tegangan (*stress transfer*) dari Gempa Aceh tahun 2004 (Cattin dkk, 2009, Nalbant et al. 2005; McCloskey et al. 2005). Studi Cattin dkk 2009 telah menghitung Coulomb Stress Transfer dari Gempa Sumatera Andaman 2004 (M9.3) dan Gempa Nias 2005 (M8.5) pada segmen Sesar Sumatera di bagian Utara. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Sesar Sumatera di Segmen bagian utara mendapat stress transfer yang positif sebesar 2-4 bar, yang mengindikasikan adanya potensi terjadinya gempa di Sesar Sumatera pada Segmen Utara. Hal ini kemudian dijawab oleh kejadian gempa Takengon tanggal 2 Juli 2013 (M6.1) dan 21 Januari 2013 (M6.1) (Ito dkk, 2016). Hasil penelitian terhadap kegempaan di Aceh seperti diuraikan tersebut diatas disampaikan dalam gambar 69 sampai dengan gambar 74.



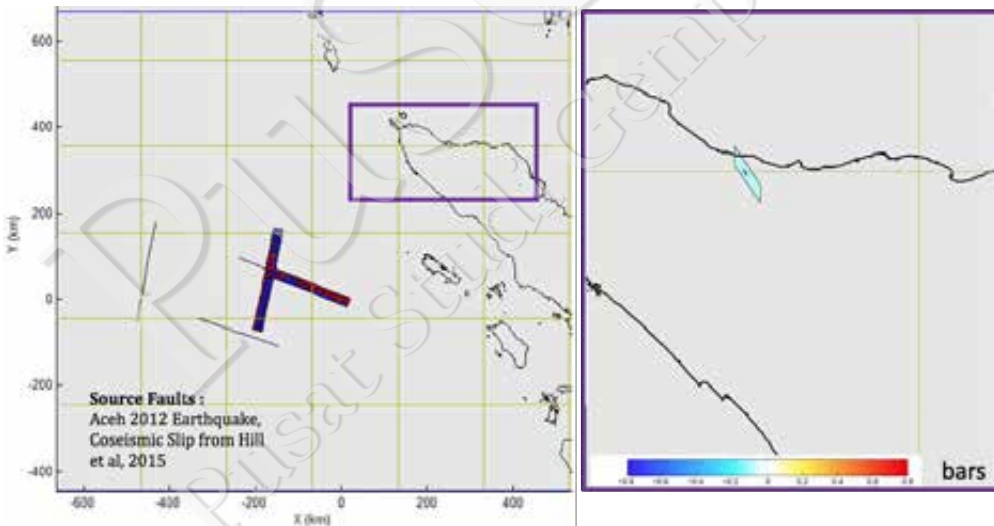
Gambar 67 Implikasi gempa Sumatra Andaman 2004 dan gempa Nias 2005 pada segmen bagian Utara dari Sesar Sumatra. (a) Setelah gempa Sumatra Andaman 2004 dan sebelum gempa Nias 2005 (b) setelah kedua gempa Sumatra Andaman 2004 dan gempa Nias 2005. Distribusi slip coseismic gempa 2004 menggunakan model Chlieh, dkk. 2007 dan model Briggs, dkk. 2007 untuk gempa Nias (Cattin, dkk. 2009).



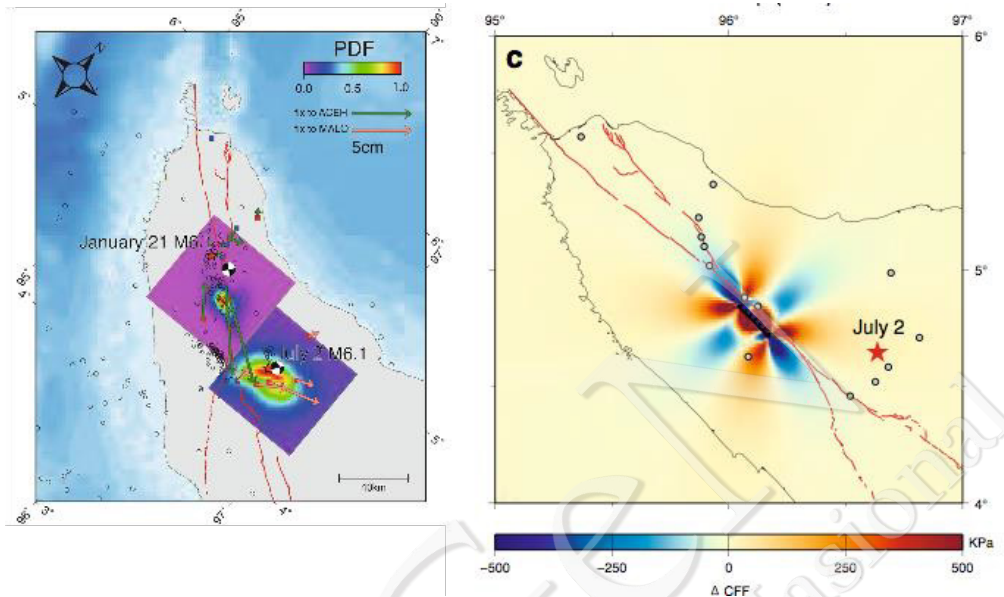
Gambar 68 Coulomb stress changes dari gempa Sumatra-Andaman 2004 pada bidang penerima dugaan sesar Pidie Jaya sebesar 3.2 bar



Gambar 69 Coulomb Stress Changes dari gempa Nias 2005 pada bidang penerima sebesar -0.16 bar

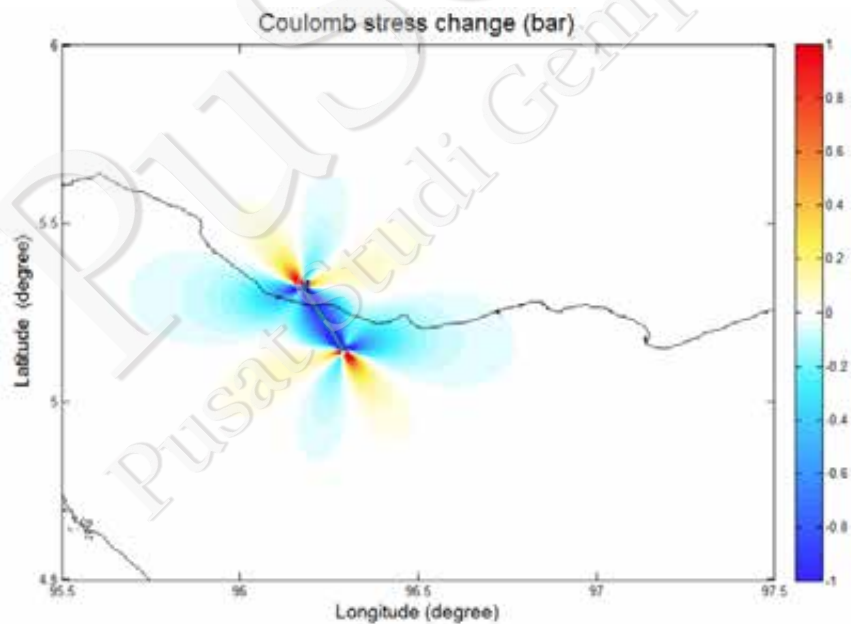


Gambar 70 Coulomb Stress Changes dari Gempa Aceh 2012 pada bidang penerima sebesar -0.27 bar

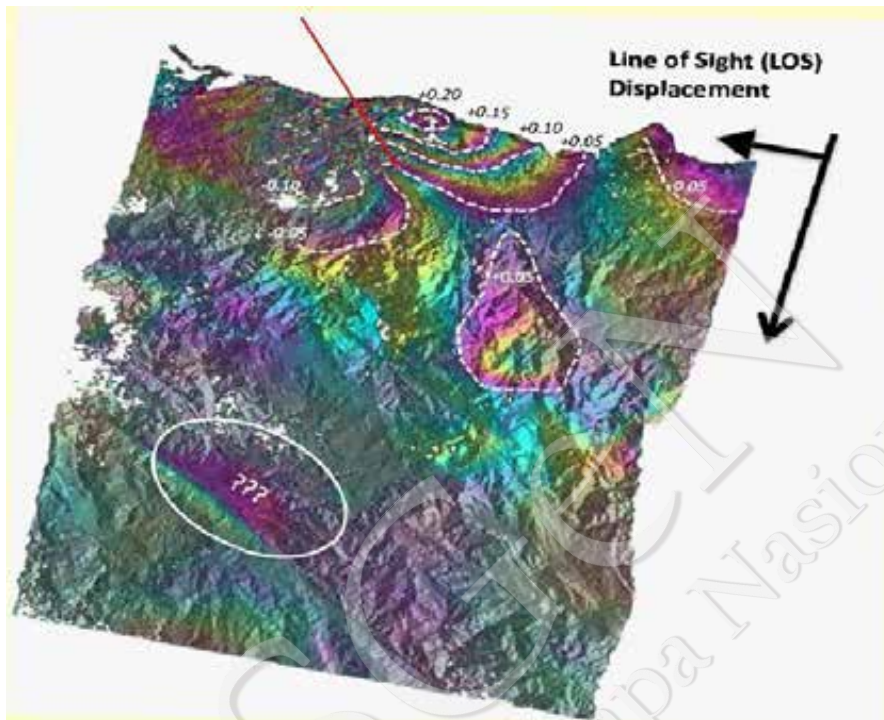


Gambar 71 coulomb stress changes dari gempa Takengon 21 Januari 2013 (M6.1) yang dianalisis mentrigger gempa Takengon 2 Juli 2013 (M6.1) (Ito, et. al., 2016)

Coulomb stress transfer dari gempa Sesar Pidie Jaya 2016 kurang dari 1 bar (Gambar 74) sehingga kemungkinan ada gempa lain yang terpicu di sekitar Pidie Jaya rendah.



Gambar 72 Coulomb Stress Changes dari Gempa Pidie Jaya 2016 pada area sekitarnya



Gambar 73 Kandidat Sesar Pidie Jaya berdasarkan data geodetik.

7.8 Penutup

Bab ini menjelaskan sumber penyebab gempa Pidie Jaya 2016 berdasarkan data pengamatan geodetik (INSAR dan GPS). Dijelaskan juga dengan detail kondisi deformasi pascagempa (postseismic deformation) di wilayah Aceh sebagai dampak dari gempa-gempa besar sebelumnya. Dalam bab ini dijelaskan juga pemodelan awal sumber gempa Pidie menggunakan pemodelan dislokasi elastik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan pada semua pihak yang mendukung survei dan data geodetik. Survei gempa Pidie Jaya dan survei GPS didukung oleh Pusat Penelitian Mitigasi Bencana ITB, Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN)/Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Badan Informasi Geospasial (BIG), Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI) dan PT Pamapersada Nusantara (PAMA). Data INSAR diperoleh dari kolaborasi *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), Universitas Nagoya Jepang, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) serta ITB. Terima kasih kami ucapkan kepada tim PUSKIM, Dinas PU Kabupaten Pidie Jaya, tim BMKG, tim PVMBG, tim BNPB, tim BIG, dan warga setempat yang sangat membantu pada saat survei dan instalasi GPS di lapangan. Peralatan GPS yang digunakan untuk keperluan survei Pengamatan GPS Kontinyu Temporer Gempa Pidie berasal dari kerjasama Australian Department of Foreign Affairs and Trade (DFAT) untuk Graduate Research on Earthquake and Active Tectonics (GREAT) ITB.



8. Observasi Skala Intensitas Kegempaan dan Kondisi Geologi Wilayah Bencana

Akhmad Solikhin¹, Supartoyo¹, Sri Hidayati¹, Amalfi Omang¹, Haunan Afif¹, Pandu Adi Minarno¹, Merry Cristina Natalia¹, Subandriyo¹, Kristianto¹, Gangsar Turjono¹, Juanda¹

¹Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, KESDM, Bandung

Gempa yang terjadi pada 7 Desember 2016 dengan kekuatan M_{6,5} (BMKG) telah mengakibatkan banyak korban jiwa dan kerusakan berat, khususnya di wilayah Kabupaten Pidie Jaya dan Kabupaten Bireun, Provinsi Aceh. Sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempa, Badan Geologi mengirimkan Tim Tanggap Darurat (TTD) dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) ke lokasi bencana. TTD Badan Geologi ini bertugas untuk melakukan pemeriksaan dampak guncangan gempa serta melakukan penyelidikan terkait sumber gempa dan kondisi tanah permukaan di daerah bencana.

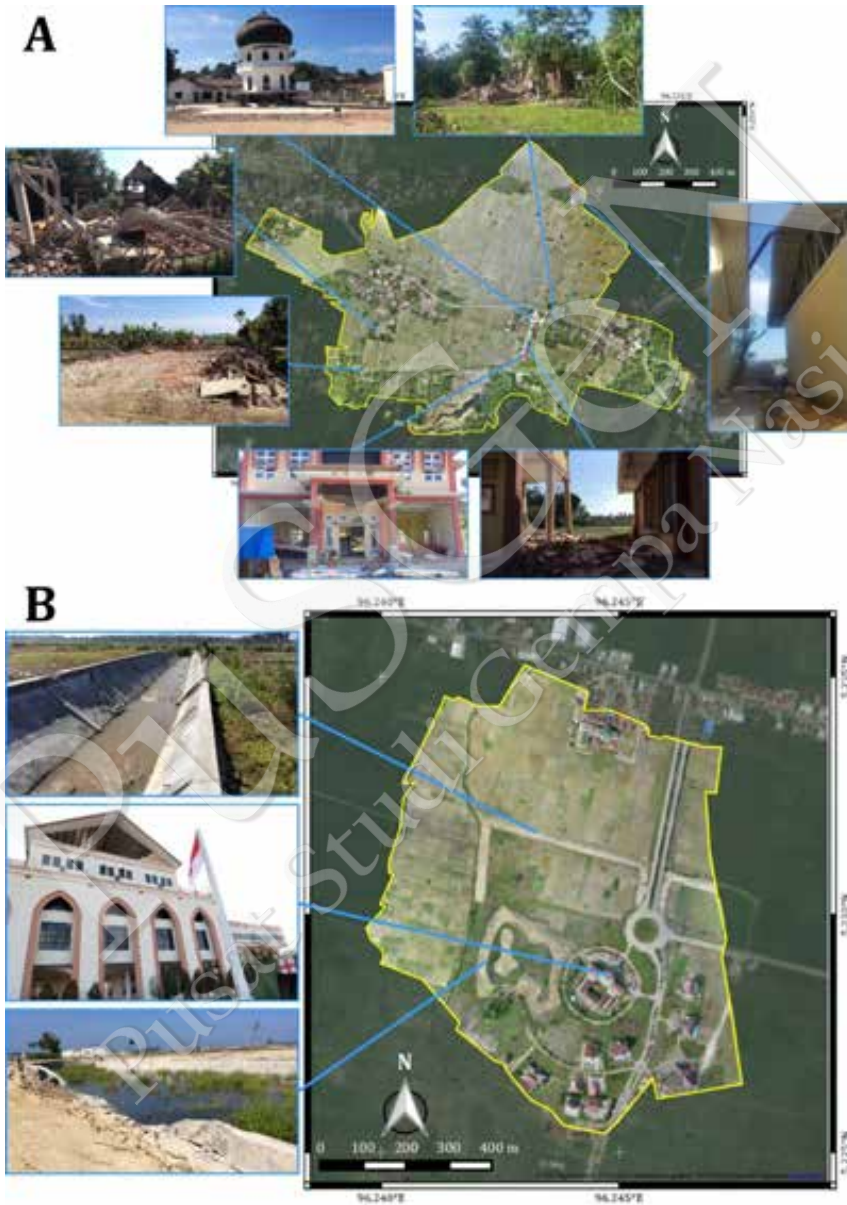
Di lokasi bencana, TTD Badan Geologi melakukan pemeriksaan lapangan langsung, pengambilan foto udara, dan perekaman data mikrotremor. Pengambilan foto udara dilakukan untuk keperluan fotogrametri untuk memperoleh *orthophoto* (gabungan foto-foto yang telah dikoreksi secara geografis) dengan resolusi spasial sangat tinggi (20 cm per piksel) yang dapat digunakan untuk menganalisis wilayah kerusakan secara detail. Pengambilan data mikrotremor dilakukan untuk keperluan analisis kondisi tanah permukaan di lokasi bencana berdasarkan nilai frekuensi, periode dominan, serta amplifikasi guncangan gempa.

8.1 Dampak Gempa

Kejadian gempa tersebut telah mengakibatkan bencana di wilayah Kabupaten Pidie, Pidie Jaya, dan Bireun, Provinsi Aceh. Bencana terparah terjadi di wilayah Kabupaten Pidie Jaya. Pemeriksaan lapangan memperlihatkan bahwa kejadian gempa ini tidak mengakibatkan terjadinya tsunami selain karena pusat gempanya yang berada dekat daratan juga karena mekanisme gempa yang didominasi oleh pergerakan horizontal (geser).

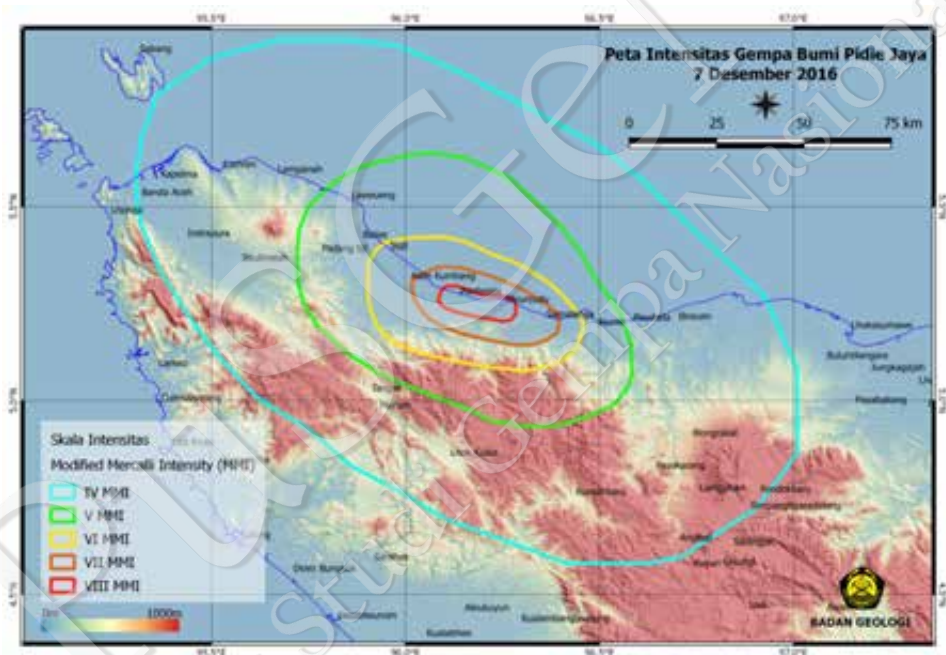
Berdasarkan pemeriksaan lapangan, kejadian gempa tersebut telah mengakibatkan kerusakan geologi berupa pergeseran tanah, retakan tanah, dan likuifaksi (*liquefaction*). Pergeseran tanah terjadi di daerah Trienggadeng dan Panteraja. Arah pergeseran tanah adalah Utara-Selatan dan Barat-Timur. Retakan tanah tersebar cukup luas di daerah Lumpangtiga (Kabupaten Pidie), Ulim, Tringgading, Panteraja, Panteraja Barat, Meunasah Balik, Pantai Manohara. Arah retakan tanah tersebut sama dengan arah pergeseran tanah, yaitu Barat-Timur dan Utara-Selatan. Likuifaksi dicirikan munculnya pasir halus di antara retakan tanah dan gunung pasir (*sand boil*), tersebar di daerah Ulim, Panteraja, Panteraja Barat, Meunasah Balik, pantai Manohara, dan Sagoe. Pergeseran tanah, retakan tanah, dan likuifaksi tersebut telah mengakibatkan kerusakan jalan dan bangunan. Gambar 76 memperlihatkan citra ortofoto dari foto udara yang dikombinasikan dengan foto dan data lapangan di sekitar Masjid Jami Quba Kecamatan Pangwa

(A) dan sekitar kantor Bupati Pidie Jaya di Meureudu (B). Foto udara direkam di dua lokasi tersebut dengan menggunakan bantuan *mini drone* untuk keperluan fotogrametri yang bertujuan memperoleh citra detail lokasi kerusakan akibat gempa.

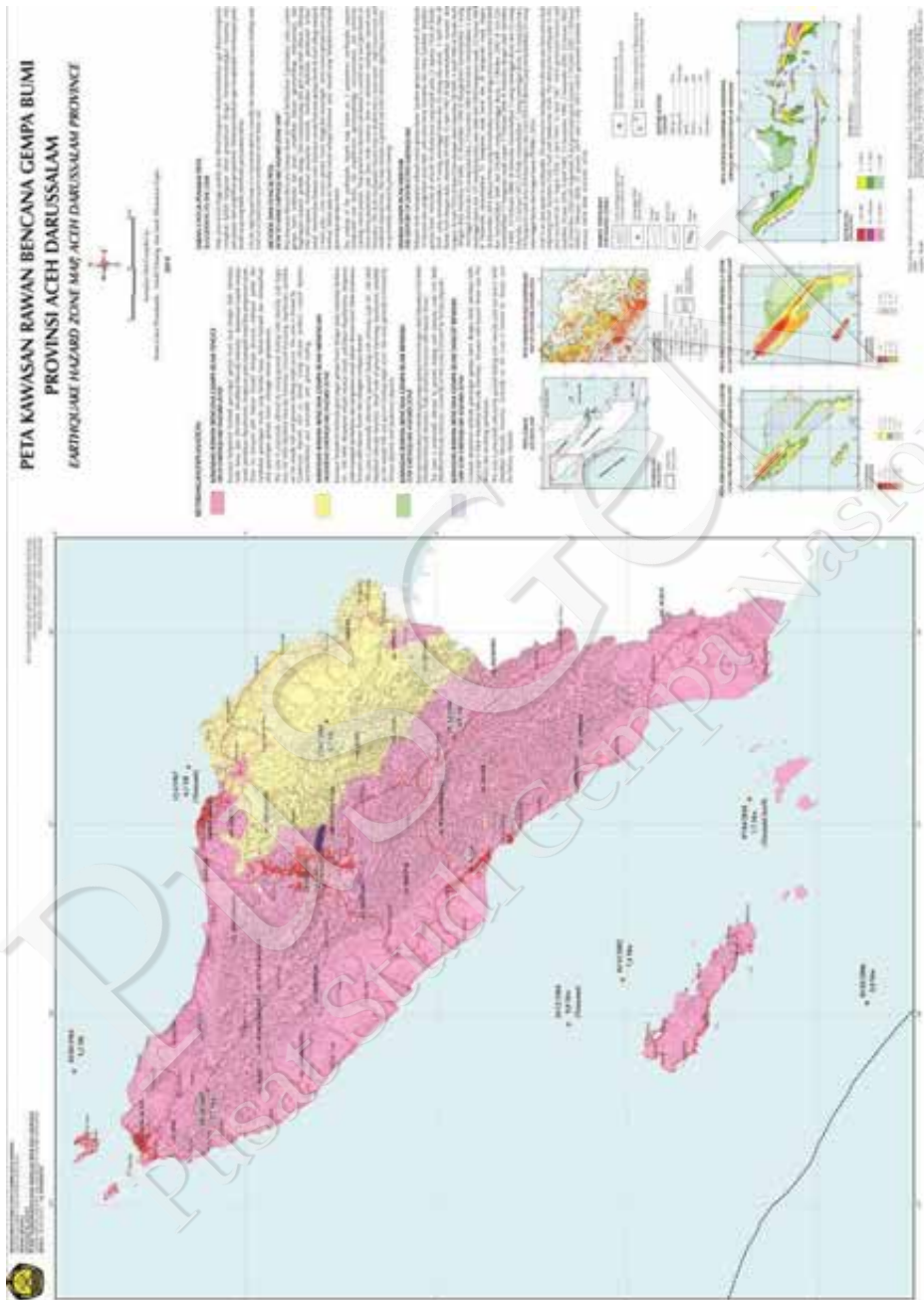


Gambar 74. Citra ortofoto dari foto udara dikombinasikan dengan data pemeriksaan lapangan di sekitar Masjid Jami Quba Kecamatan Pangwa (A) dan kantor Bupati Pidie Jaya di Meureudu (B)

Gambar 77 memperlihatkan peta isoseismal atau peta intensitas gempa Pidie Jaya, 7 Desember 2016 berdasarkan pemeriksaan lapangan ditambah informasi lain dari berbagai sumber termasuk hasil wawancara dengan masyarakat terkait intensitas guncangan gempa. Skala intensitas maksimum yang mencapai skala intensitas VIII MMI (*Modified Mercally Intensity*) melanda daerah Mereudu, Kabupaten Pidie Jaya. Hal ini dicirikan oleh pengemudi mobil terganggu, fondasi dan tiang penyangga rumah kayu berpindah/ bergeser, terjadi retakan tanah cukup lebar dan panjang, terjadi pergeseran tanah dan likuifaksi, batang pohon terbelah, tangki air yang berada di atas berputar atau jatuh, dan terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan dengan konstruksi kuat. Berdasarkan pengamatan di lapangan, terlihat bahwa dampak gempa yang terjadi terletak pada kawasan rawan bencana gempa tinggi sesuai dengan peta kawasan rawan bencana (KRB) gempa Provinsi Aceh (Priambodo, dkk., 2014) yang diterbitkan oleh Badan Geologi tahun 2014 (Gambar 78).



Gambar 75 Peta intensitas gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016.

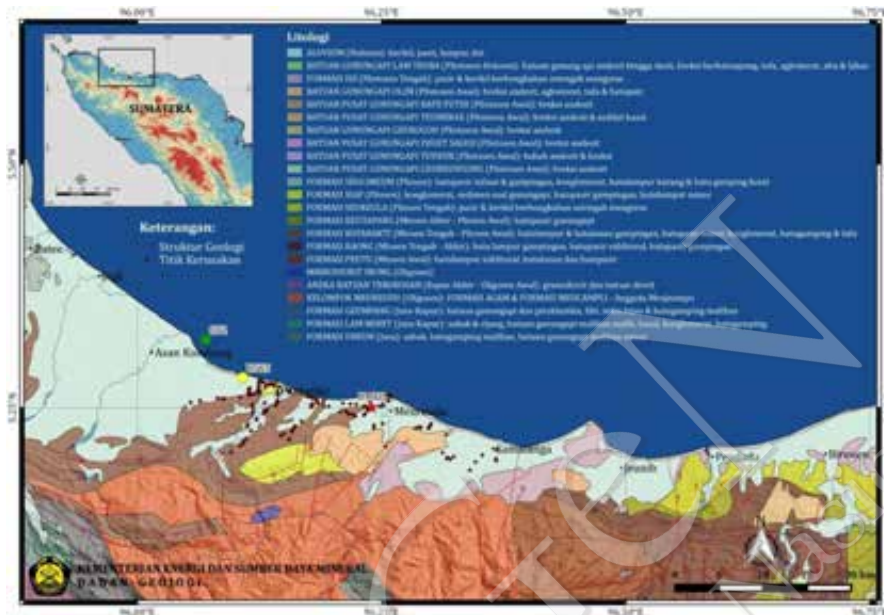


Gambar 76. Peta kawasan rawan bencana gempa Provinsi Aceh (Priambodo, dkk., 2014). Kotak hitam merupakan daerah bencana yang termasuk pada kawasan rawan bencana gempa.

8.2 Kondisi geologi daerah terdampak gempa

Gambar 79 memperlihatkan peta geologi di sekitar wilayah Kabupaten Pidie Jaya berdasarkan peta geologi lembar Banda Aceh (Bennet, dkk., 1981) dan lembar Lhokseumawe (Keats, dkk., 1981). Batuan permukaan wilayah Pidie Jaya bagian utara disusun oleh Aluvium (tak terbedakan) berumur Holosen yang terdiri atas batu kerikil, pasir, lumpur, dan seterusnya. Di bagian timur Kabupaten Pidie Jaya terdapat batuan gunung api Olim berumur Plistosen Awal. Batuan ini terdiri atas breksi andesit, aglomerat, tufa, dan batu pasir. Di bawah Aluvium, terdapat Formasi Siap berumur Pliosen yang terdiri atas konglomerat, sedimen asal gunung api, batu pasir gampingan dan batu lumpur minor. Formasi Siap ini juga tersingkap di permukaan di wilayah utara Panteraja dan selatan Trienggadeng. Di bawahnya lagi terdapat Formasi Kotabakti yang terbentuk pada masa Miosen Tengah hingga Pliosen Awal dan terdiri atas batu lumpur gampingan, batu lanau gampingan, batu pasir minor, konglomerat, batu gamping dan tufa. Kemudian, batuan yang lebih tua lagi yang terbentuk pada masa Oligosen adalah batuan dari Kelompok Meureudu yang terdiri atas Formasi Agam (batu lanau berari, batu pasir, breksi dalam formasi batu gamping dan batu pasir berglaukonit) dan Formasi Meucampli (batu pasir mikaan, konglomerat aneka bahan, batu pasir konglomerat, batu lanau, batu gamping, batuan gunung api mafik amigdaloid).

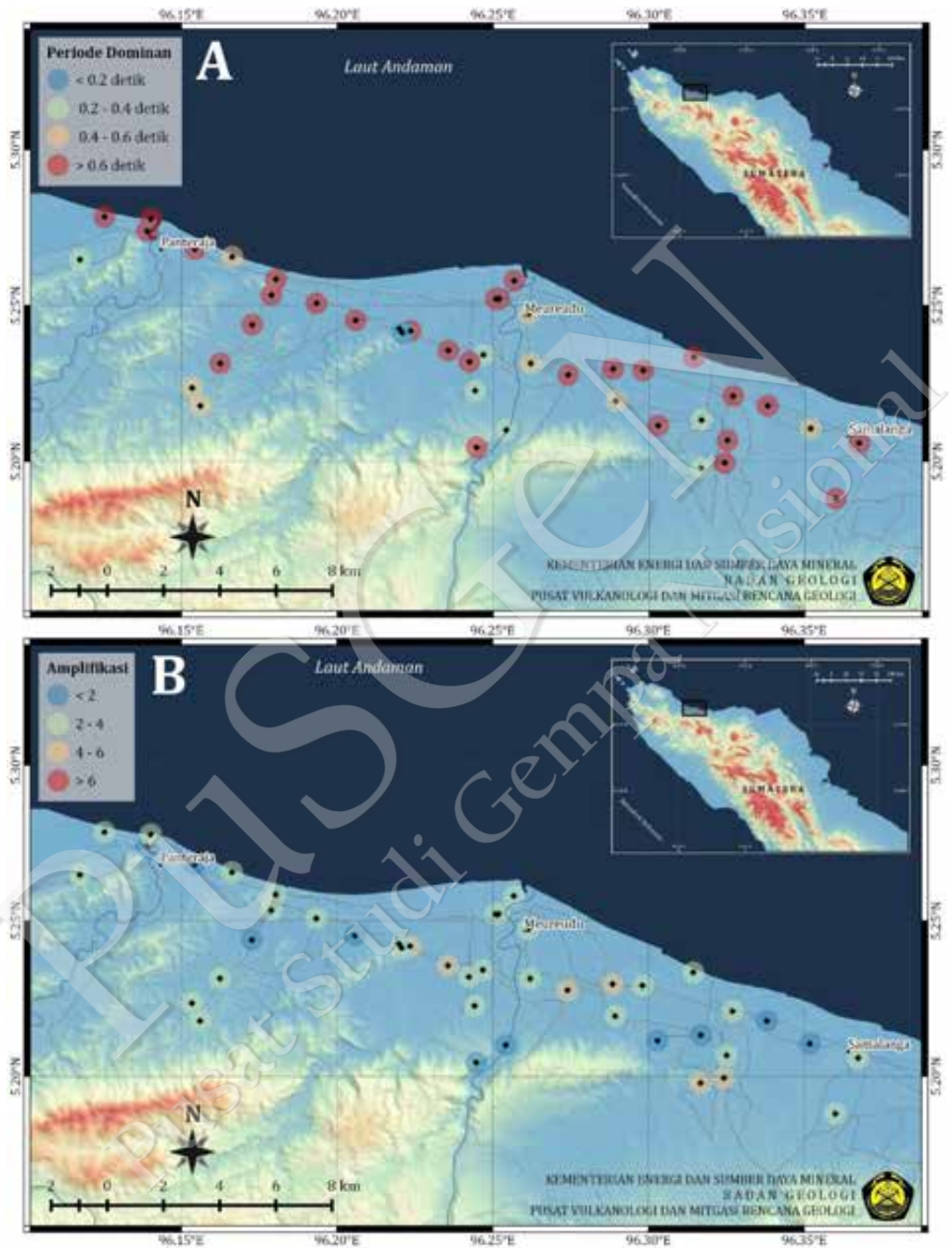
Berdasarkan peta geologi, daerah yang berdekatan dengan pusat gempa, yaitu daerah sebelah utara Pidie Jaya dan Bireun pada umumnya disusun oleh Aluvium berumur Kuartar (Holosen) serta batuan berumur Tersier yang telah mengalami pelapukan (Gambar 79). Di lokasi bencana, kerusakan bangunan dan kerusakan geologi (seperti retakan tanah dan likuifaksi) tidak hanya terjadi di daerah yang disusun oleh endapan muda (berumur Kuartar), tetapi juga di daerah yang disusun oleh batuan yang lebih tua (berumur Tersier). Batuan Tersier tersebut diduga telah mengalami pelapukan sehingga mempunyai sifat yang relatif sama dengan batuan muda, yaitu lunak dan tidak terkonsolidasi. Hal ini dapat memperkuat efek guncangan gempa. Aluvium di daerah pesisir Pidie Jaya berada di atas batuan Tersier yang kemungkinan telah terombakkan juga sehingga di daerah tersebut mempunyai batuan lunak yang lebih tebal.



Gambar 77. Peta geologi wilayah bencana gempa yang dimodifikasi dari peta geologi lembar Banda Aceh skala 1:250.000 (Bennet, et. al., 1981) dan Lembar Lhokseumawe skala 1:250.000 (Keats, et. al., 1981) serta lokasi kerusakan hasil pemeriksaan lapangan.

8.3 Analisis kondisi wilayah bencana berdasarkan data mikrotremor

Pengambilan data mikrotremor dilakukan di 45 lokasi yang tersebar di wilayah Kabupaten Pidie Jaya dan wilayah barat Kabupaten Bireun. Pengukuran dan analisis data mikrotremor bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi dan klasifikasi tanah berdasarkan gelombang seismik permukaan dari getaran-getaran alami yang direkam oleh seismograf. Analisis sementara data mikrotremor memperlihatkan bahwa sebagian besar wilayah pemeriksaan, baik yang mengalami kerusakan maupun tidak, mempunyai periode dominan lebih besar dari 0,6 detik (Gambar 80A). Hal ini dapat diartikan bahwa daerah tersebut mempunyai lapisan tanah lunak yang tebal. Berdasarkan Zhao, dkk. (2004), lapisan tanah dengan periode natural lebih besar dari 0,6 detik mempunyai kecepatan gelombang geser (gelombang-S) rata-rata pada kedalaman 0 hingga 30 m (V_{s30}) lebih kecil dari 200 m/s atau termasuk ke dalam kelas E berdasarkan klasifikasi tanah dari National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP). Daerah dengan tanah lunak yang tebal akan mengalami guncangan yang sangat kuat, dengan catatan kekuatan gempanya harus besar hingga mampu mengguncang lapisan tanah tersebut. Banyaknya kerusakan akibat gempa 7 Desember 2016 di lokasi pemeriksaan mengisyaratkan kekuatan gempa 6,5 M_w dengan jarak yang relatif dekat mampu mengguncang lapisan tanah tebal tersebut. Selain itu, terdapat juga faktor amplifikasi (penguatan efek guncangan gempa) karena sifat fisis tanah yang lebih lunak dibandingkan batuan dasarnya. Pada umumnya, kondisi tanah di lokasi bencana mempunyai faktor amplifikasi gempa antara 2 hingga 4 kali (Gambar 80B).



Gambar 78. Peta nilai periode dominan (A) dan amplifikasi guncangan gempa (B) di wilayah bencana berdasarkan hasil analisis data mikrotremor

8.4 Dokumentasi

Dokumentasi jenis kerusakan bangunan akibat dari gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016 disampaikan dalam gambar 81 sampai dengan gambar 87.



Gambar 79. Kerusakan Sekolah Tinggi Agama Islam Al Aziziah di Samalanga, Kabupaten Bireun akibat gempa tanggal 7 Desember 2016



Gambar 80. Likuifaksi mengakibatkan penurunan rumah penduduk di daerah Ulim, akibat gempa tanggal 7 Desember 2016



Gambar 81. Pergeseran tanah mengakibatkan robohnya Masjid Quba Jami, daerah Treanggadeng, akibat gempa tanggal 7 Desember 2016



Gambar 82. Kerusakan bagian dalam Kantor Bupati Pidie Jaya akibat gempa tanggal 7 Desember 2016



Gambar 83. Retakan tanah berarah utara-selatan mengakibatkan kerusakan jalan dan rumah penduduk di daerah Teumenah, akibat gempa tanggal 7 Desember 2016



Gambar 84. Sosialisasi tentang mitigasi gempa dengan tokoh masyarakat dan Kepala Desa Meunasah Balik, Kabupaten Pidie Jaya



Pengukuran mikrotremor



Koordinasi dan diskusi bersama BNPB



Pengambilan foto udara menggunakan *drone*



Diskusi bersama Kepala Sekolah dan Guru



Konferensi Pers BNPB, Badan Geologi, ITB dan Kementerian PU



Sosialisasi langsung kepada masyarakat



Gambar 85. Foto-foto kegiatan Tim Tanggap Darurat Badan Geologi tahap kedua di lokasi bencana gempa



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



9. Observasi Tipe Kerusakan Struktural Bangunan dan Infrastruktur

**Sutadji Yuwasdiki¹, Mohamad Ridwan¹, Muhammad Ryansyah², Yoga Megantara¹,
Muhammad Rusli¹, Azhar Pangarso¹**

¹ Puslitbang Perumahan dan Permukiman Kementerian PUPR, Bandung

²Institut Teknologi Bandung

Laporan ini memaparkan hasil survei observasi kerusakan bangunan dan infrastruktur akibat gempa Pidie Jaya yang terjadi pada tanggal 7 Desember 2016. Survei dilakukan oleh Tim Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Tim ini melakukan observasi visual di lokasi kejadian dari tanggal 9 Desember hingga 12 Desember 2016. Survei dititikberatkan pada:

1. Penilaian kerusakan bangunan gedung pemerintahan
2. Penilaian kerusakan pada bangunan publik, seperti sekolah dan masjid
3. Penilaian kerusakan bangunan milik warga (rumah tinggal, rumah toko, dan lain-lain)

9.1 Teknik Penilaian dan Klasifikasi Tingkat Kerusakan

Pada kondisi tanggap darurat (*emergency response*), yaitu beberapa saat setelah terjadi gempa, prioritas utama pemeriksaan dilakukan pada bangunan-bangunan penting seperti bangunan pemerintah dan rumah sakit. Selain itu, pemeriksaan dilanjutkan ke bangunan lainnya, seperti sarana ibadah, fasilitas pendidikan, dan rumah tinggal milik masyarakat. Penilaian tingkat kerusakan bangunan dilakukan secara langsung di lapangan terhadap tiap bangunan untuk mengklasifikasikan kategori tingkat kerusakan.

Pemeriksaan kerusakan dilakukan secara visual terhadap komponen struktur, arsitektur, utilitas bangunan secara menyeluruh, dan juga kondisi tanah disekitarnya. Komponen struktur seperti kolom, balok, dan dinding yang bergeser merupakan komponen utama dalam penilaian tingkat kerusakan bangunan. Hal ini sangat menentukan klasifikasi tingkat kerusakan. Penilaian juga dilakukan terhadap posisi bangunan untuk melihat kemungkinan terjadinya perpindahan bangunan atas dari pondasi.

Dengan merujuk kepada beberapa metode pemeriksaan yang umum dilakukan di beberapa negara, klasifikasi tingkat kerusakan bangunan akibat gempa dapat dikategorikan menjadi rusak ringan, rusak sedang, rusak berat, dan runtuh. Hal ini dilakukan berdasarkan persentase tingkat kerusakan struktur, arsitektur, dan utilitas. Langkah-langkah pemeriksaan dimulai pada bagian luar bangunan. Setelah diketahui bangunan dalam kondisi aman, dilakukan pemeriksaan pada bagian dalam.

Hasil penilaian tingkat kerusakan bangunan secara cepat (*rapid assessment*) ini merupakan dasar untuk menentukan langkah berikutnya dalam menentukan rekomendasi. Rekomendasi tersebut di antaranya bangunan rusak ringan dapat digunakan secara langsung, rusak sedang dapat digunakan secara terbatas dan hati-hati, sedangkan rusak berat tidak boleh digunakan.

Khusus untuk bangunan rusak berat, perlu dilakukan pemeriksaan lebih lanjut secara detail untuk menentukan langkah perbaikan, apakah dapat dilakukan perbaikan untuk dapat difungsikan kembali atau harus diruntuhkan.

9.2 Identifikasi Daerah Terkena Dampak

Pada umumnya, daerah yang terkena dampak gempa adalah akibat guncangan gelombang gempa pada bangunan. Selain itu, daerah terkena dampak dapat juga disebabkan oleh bahaya ikutan seperti longsor, likuifaksi, dan *fault rupture*. Bahaya utama dan bahaya ikutan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan dan infrastruktur dengan berbagai tingkat kerusakan. Identifikasi daerah yang terdampak gempa dilakukan berdasarkan hasil pengamatan kerusakan struktur. Identifikasi diawali dengan pemeriksaan kerusakan secara cepat pada seluruh lokasi (*reconnaissance*) untuk mengetahui luas area yang terkena dampak gempa. Selanjutnya, dilakukan pengamatan lebih detail pada setiap bangunan dan menentukan kategori tingkat kerusakan.

Berdasarkan identifikasi yang difokuskan pada lokasi kerusakan struktur, daerah yang terkena dampak gempa terlihat tidak terlalu luas. Di bagian barat, ditemukan kerusakan bangunan ruko dua lantai yang mengalami keruntuhan. Ruko ini berlokasi di sekitar batas Kabupaten Pidie Jaya. Sementara itu, di bagian timur, kerusakan terjadi di sekitar daerah Samalanga. Hal ini sesuai dengan kondisi sumber gempa yang cukup dangkal. Panjang daerah kerusakan pada arah barat-timur adalah sekitar 35 km dan terakumulasi di sekitar bagian utara yang merupakan daerah yang paling padat. Luas area terkena dampak gempa secara keseluruhan dan lokasi kerusakan struktur bangunan dari kategori rusak ringan sampai yang mengalami keruntuhan diperlihatkan pada gambar 88.



Gambar 86 Distribusi lokasi kerusakan struktur bangunan dari kategori rusak ringan–runtuah di daerah yang terkena dampak gempa. Garis hitam adalah garis sesar yang diduga sebagai pemicu terjadinya gempa

9.3 Survei Kerusakan Struktur Bangunan dan Infrastruktur terhadap Kompleks Perkantoran Kabupaten Pidie Jaya

Pemeriksaan kerusakan struktur dilakukan pada lokasi kompleks perkantoran Kabupaten Pidie Jaya yang terdiri atas kantor Bupati, kantor PUPeRa Kabupaten, kantor Bappeda, kantor DPR Kabupaten, kantor Kejaksaan Tinggi, kantor Kemenag, kantor Badan Pusat Statistik, dan kantor KPU. Kompleks Perkantoran Pemerintah Daerah Pidie Jaya disampaikan dalam Gambar 89.



Gambar 87 Lokasi Kompleks Perkantoran Kabupaten Pidie Jaya

Kerusakan pada bangunan-bangunan ini umumnya adalah kerusakan nonstruktural, kecuali pada kantor Kejaksaan Tinggi. Kerusakan nonstruktural yang terjadi adalah robohnya dinding bata di bagian atas dari bangunan (penutup kuda-kuda atap). Penyebabnya adalah kurang atau tidak adanya pengaku lateral bagi dinding bata ini. Kerusakan ini juga mengakibatkan beberapa bagian dari bangunan tidak aman sebab masih adanya kemungkinan bahaya benda jatuh.





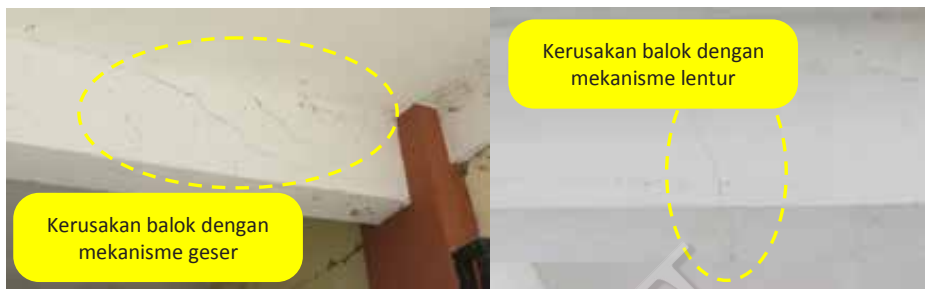
Gambar 88 Kerusakan nonstruktural (dinding bata) pada gedung-gedung perkantoran

Bangunan-bangunan ini tidak mengalami kerusakan struktural yang berarti. Oleh sebab itu, bangunan-bangunan ini aman untuk digunakan dengan kondisi akses terbatas jika sudah dibersihkan dari bahaya benda jatuh. Untuk dapat digunakan kembali secara normal, perlu dilakukan survei kerusakan lanjutan yang lebih detail. Di antara gedung pemerintahan yang disurvei, hanya kantor Kejaksaan Tinggi yang mengalami kerusakan struktural pada kolom dan balok di lantai basemennya. Kerusakan struktural terjadi pada:

- Join balok-kolom akibat beban geser ditunjukkan dalam Gambar 89
- Balok berupa retak geser kategori sedang ditunjukkan dalam Gambar 90



Gambar 89 Kerusakan struktural pada join balok-kolom di Gedung Kejaksaan Tinggi



Gambar 90 Kerusakan geser pada balok

Kerusakan geser terjadi akibat penulangan geser yang kurang. Kerusakan pada elemen arsitektural juga terjadi antara lain retak pada dinding dan tegel terkelupas. Kerusakan struktural ini kemungkinan besar disebabkan oleh kesalahan pada tahap desain atau pelaksanaan konstruksi yang ditandai dengan:

- Lokasi *construction joint* pada kolom di lokasi yang kritis (pada lokasi momen yang besar saat gempa);
- Detailing* penulangan kolom yang tidak sesuai dengan ketentuan bangunan tahan gempa;
- Permukaan *construction joint* yang tidak dibersihkan secara benar menyebabkan terjadinya pelemahan pada kolom;

Untuk kantor Kejaksaan Tinggi, direkomendasikan tidak aman untuk digunakan hingga dilakukan survei kerusakan struktural yang lebih detail dan pekerjaan perbaikan struktural dilaksanakan sebelum dapat digunakan kembali.

9.4 Survei Kerusakan Struktur Bangunan dan Infrastruktur terhadap Bangunan Publik

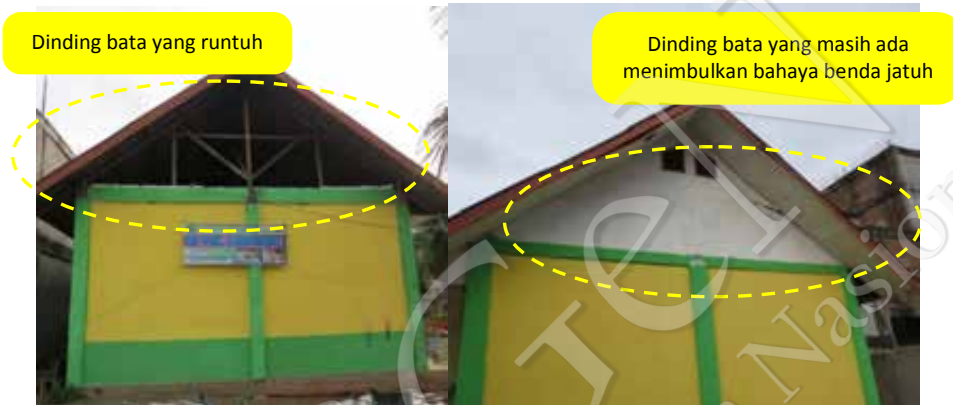
Survei kerusakan struktur bangunan dan informasi bangunan publik di antaranya meliputi sekolah dan masjid. Salah satu gedung sekolah yang disurvei adalah STAI Al-Aziziyah yang merupakan gedung sekolah 4 lantai dan mengalami keruntuhan. STAI Al-Aziziyah (gedung sekolah 4 lantai) mengalami keruntuhan. Dari hasil pengamatan, terjadi fenomena *soft story*. Keruntuhan diakibatkan *detailing* penulangan kolom yang tidak sesuai dengan persyaratan bangunan tahan gempa, seperti ditunjukkan gambar 93.



Gambar 91 Mekanisme keruntuhan *soft story* pada STAI Al-Aziziyah

Keruntuhan *soft story* pada STAI Al-Aziziyah merupakan mekanisme keruntuhan yang umum terjadi pada bangunan-bangunan yang runtuh di lokasi gempa.

TK Raudhatul Athfal (gedung sekolah 1-lantai) tidak mengalami kegagalan struktural. Namun, bangunan ini tetap memberikan bahaya benda jatuh akibat elemen nonstruktural. Kondisi ini mirip dengan bangunan-bangunan gedung pemerintahan yang disurvei. Gambar 94 menunjukkan bahaya benda jatuh pada kerusakan nonstruktural.



Gambar 92 Kerusakan nonstruktural yang menimbulkan bahaya benda jatuh

Selain itu, meskipun tidak mengalami keruntuhan, elemen struktural dari bangunan ini juga tidak memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa. Gambar 95 menunjukkan elemen struktural yang tidak mengikuti persyaratan bangunan tahan gempa.



Gambar 93 Penulangan struktur kolom tidak mengikuti persyaratan bangunan tahan gempa

Masjid Al-Qausas (gedung 2 lantai) mengalami kerusakan struktural dengan fenomena *soft story* juga. Lantai 2 memiliki tinggi lantai hingga 6 m dan beban yang besar pada bagian atas (berupa atap dan kubah masjid). Hal ini menyebabkan kolom-kolom di lantai 2 menerima gaya yang besar dan mengalami kerusakan struktur yang parah. Gambar 96 menunjukkan kerusakan kolom pada masjid Al-Qausas, sedangkan gambar 97 menunjukkan penulangan kolom yang tidak mengikuti persyaratan bangunan tahan gempa.



Gambar 94 Kerusakan struktur kolom pada Masjid Al-Qausas



Gambar 95 Penulangan kolom tidak mengikuti persyaratan bangunan tahan gempa

9.5 Survei Kerusakan Bangunan Rumah Tinggal dan Rumah Toko (Ruko)

Di sepanjang jalan utama, terdapat beberapa bangunan rumah toko (ruko) yang mengalami keruntuhan total. Hal yang menarik adalah sebagian besar bangunan ruko lain yang berdekatan bahkan berdampingan, tidak mengalami kerusakan yang berarti jika diamati secara visual. Ada kemungkinan ini disebabkan adanya penambahan lantai bangunan ruko secara pribadi oleh pemilik ruko. Hal ini membuat unit ruko yang mengalami keruntuhan memiliki karakteristik dinamis yang berbeda dengan ruko-ruko di sebelahnya. Gambar 98 menunjukkan kerusakan yang tidak seragam pada bangunan rumah toko (ruko).



Gambar 96 Deretan ruko yang sebagian mengalami keruntuhan

9.6 Tipe Kerusakan

Tipikal kerusakan pada struktur bangunan dari hasil pengamatan secara visual dapat dirangkum sebagai berikut:

- a. Mutu/kualitas bahan konstruksi beton bertulang sangat rendah sehingga mudah hancur pada saat menerima beban
 - i. Bahan agregat kasar dari batu kali bukan batu pecah;
 - ii. Gradasi ukuran agregat yang tidak baik;
 - iii. Tulangan yang dipakai sebagaian besar tulangan polos;
- b. Kubah masjid dari struktur beton cukup berat dan tidak ditopang oleh struktur penyangga yang memadai, baik dari aspek kekuatan maupun kekakuan (ukuran kolom



- yang terlalu kecil) sehingga banyak masjid yang mengalami keruntuhan atau kerusakan struktural yang cukup parah
- c. Kerusakan dinding runtuh karena pengangkuran yang tidak memadai, juga kerusakan dinding ampig karena tidak ada balok pengikat
 - d. *Soft story* (kelemahan pada salah satu lantai bangunan), banyak sekali bangunan yang mengalami *soft story*, terutama di lantai satu
 - e. Keruntuhan geser di tengah kolom, efek kolom pendek
 - f. Kerusakan geser di bagian ujung kolom dekat dengan *joint* disebabkan jarak sengkang dan diameter sengkang maupun *detailing* yang tidak memadai
 - g. Kerusakan pada *joint* balok-kolom akibat tidak adanya tulangan sengkang atau tulangan sengkang jarak dan diameter tidak memadai;
 - h. Penempatan sambungan pada daerah momen maksimum, seperti pada dasar kolom dekat *pilecap*/pondasi, dan di ujung kolom di atas lantai;
 - i. Kerusakan lainnya, akibat perubahan fungsi bangunan dan juga penambahan jumlah lantai bangunan, contohnya rumah ruko, atau rumah tinggal menjadi tempat sarang burung walet;



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional

10. Hasil Awal Konklusi Sumber Gempa Pidie Jaya 2016

Danny Hilman Natawidjaja, Rahma Hanifa, Wahyu Triyoso, Sri Widiyantoro, Sri Hidayati,
Irwan Meilano, Masyhur Irsyam, M. Ridwan, Endra Gunawan

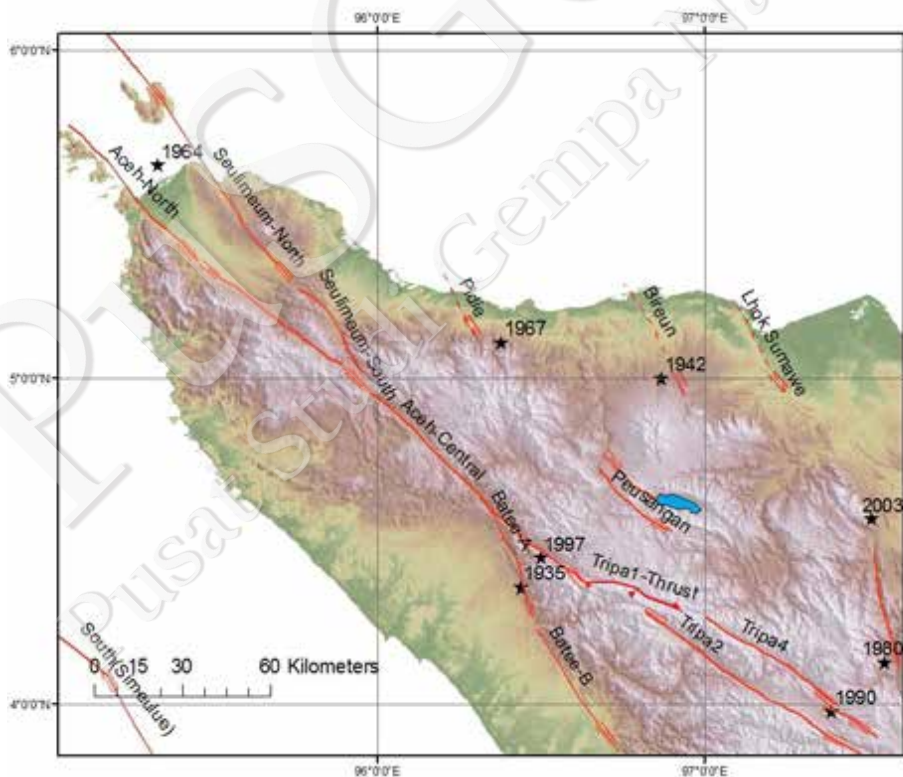
Pusat Studi Gempa Nasional

Pada bab ini disampaikan resume hasil awal konklusi sumber gempa Pidie Jaya 2016 yang dianalisis dari data geologi, seismologi, geodetik, dan dampak gempa. Analisis awal mengindikasikan patahan gempa Pidie Jaya terjadi pada patahan yang belum teridentifikasi sebelumnya pada lokasi sesar yang akan diberi nama **Sesar Pidie Jaya**. Gambar 99 menunjukkan perkiraan letak sesar Pidie Jaya.

Hasil analisis dugaan lokasi sesar Pidie Jaya dari beberapa data observasi yaitu sebagai berikut.

Data Geologi:

Gambar 99 menunjukkan perkiraan letak sesar Pidie Jaya berdasarkan data geologi.



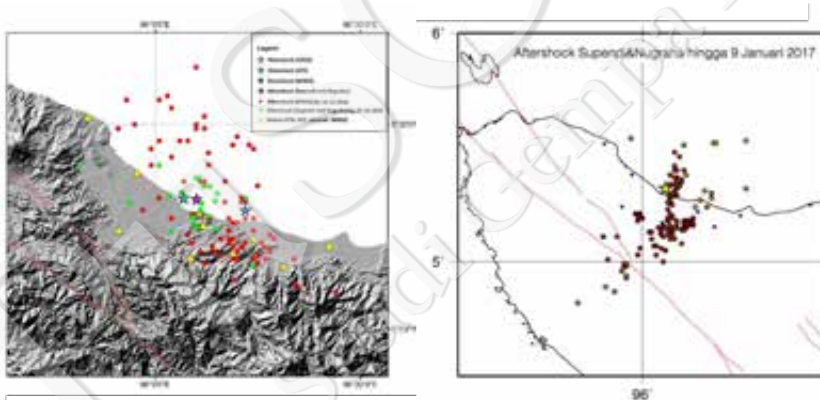
Gambar 97 Kandidat Sesar Pidie Jaya berdasarkan data geologi.

Data Kegempaan:

Mekanisme gempa Pidie Jaya dari beberapa sumber disampaikan pada tabel 11. Sebaran *mainshock* dan *aftershock* gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016 disampaikan dalam gambar 100. Data *focal mechanism* menunjukkan mekanisme gempa *strike slip* dengan arah *strike* dari *nodal plane* 1 berkisar 148-318 derajat dan *nodal plane* 2 berkisar 53-240 derajat.

Tabel 12. Mekanisme Gempa Pidie Jaya

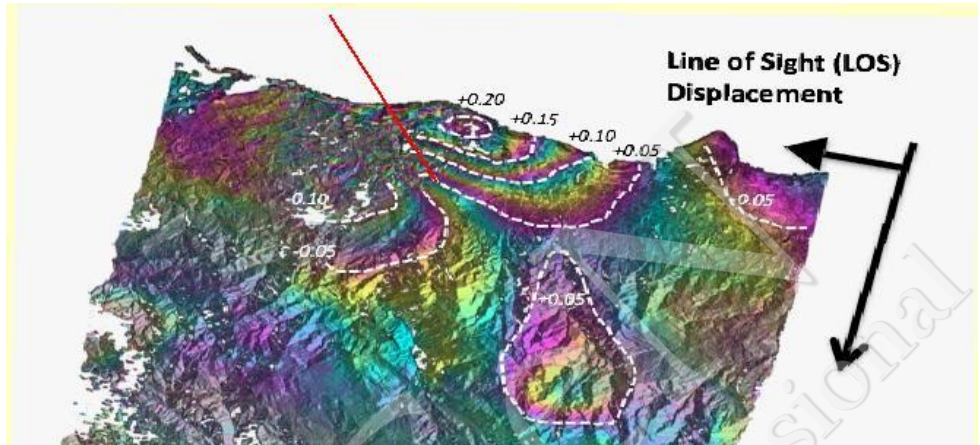
Sumber	Long	Lat	Nodal Plane	strike (°)	dip (°)	Slip-rake (°)
BMKG	96.220	5.290	NP 1	148	81	32
BMKG	96.220	5.290	NP 2	53	57	169
GFZ	96.070	5.320	NP 1	148	79	170
GFZ	96.070	5.320	NP 2	240	80	11
USGS	96.108	5.281	NP 1	243	81	33
Supendi&Nugraha	96.100	5.300	NP 1	318	86	-160
Supendi&Nugraha	96.100	5.300	NP 2	226	70	-5



Gambar 98 Sebaran mainshock dan aftershock gempa Pidie Jaya 2016 (Supendi dan Nugraha, 2016)

Data Geodetik:

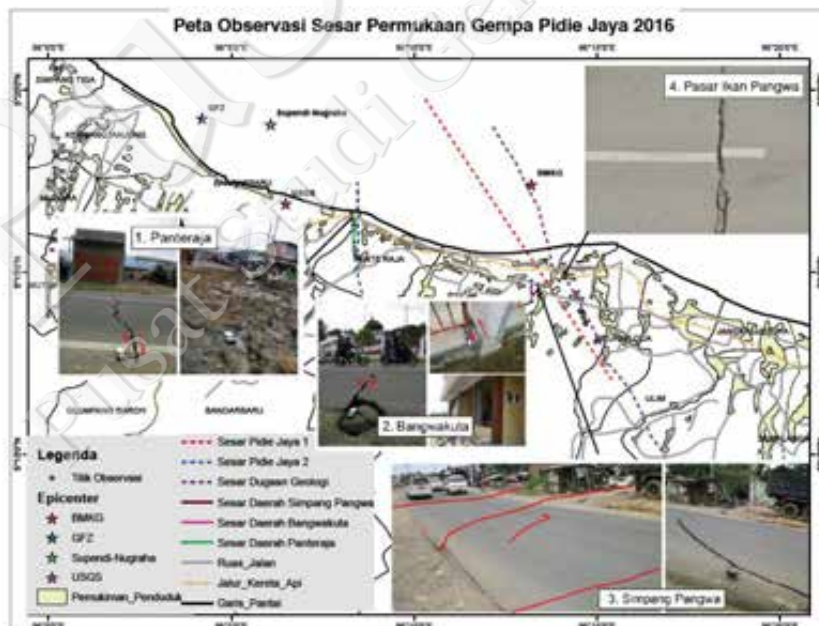
Berdasarkan data geodetik INSAR, dapat diperoleh interferometri yang cukup jelas sebelum dan sesudah gempa sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 101.



Gambar 99 Kandidat sesar Pidie Jaya berdasarkan data geodetik.

Observasi Lapangan

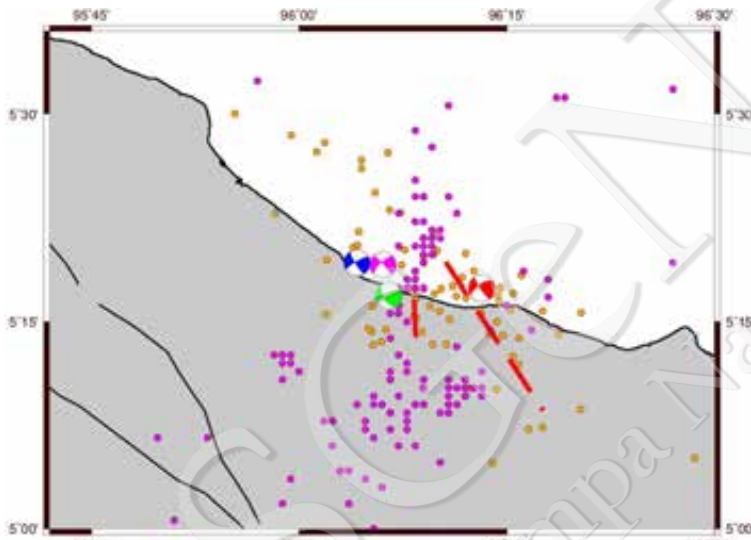
Observasi di lapangan yang dilakukan untuk mencari sesar permukaan lokasi sesar Pidie Jaya sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 102.



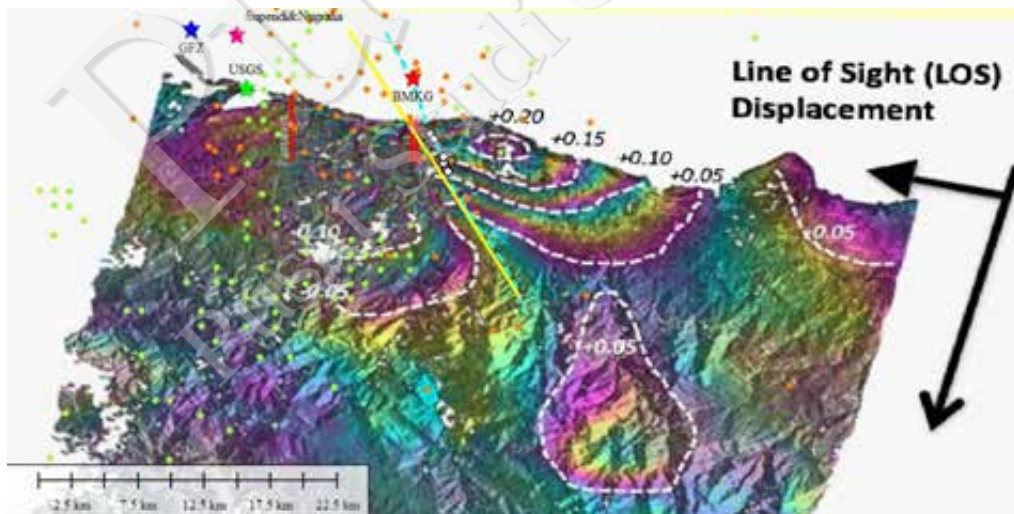
Gambar 100 Lokasi Sesar Pidie Jaya berdasarkan observasi lapangan

Kesesuaian Data Geologi-Seismologi-Geodesi-Observasi Lapangan

Kesesuaian lokasi sesar Pidie Jaya ditinjau antara data geologi-seismologi dengan observasi lapangan disampaikan dalam gambar 103, sedangkan gambar 104 menunjukkan kesesuaian lokasi sesar Pidie Jaya berdasarkan kesesuaian data geologi-seismologi-geodesi dengan observasi lapangan.



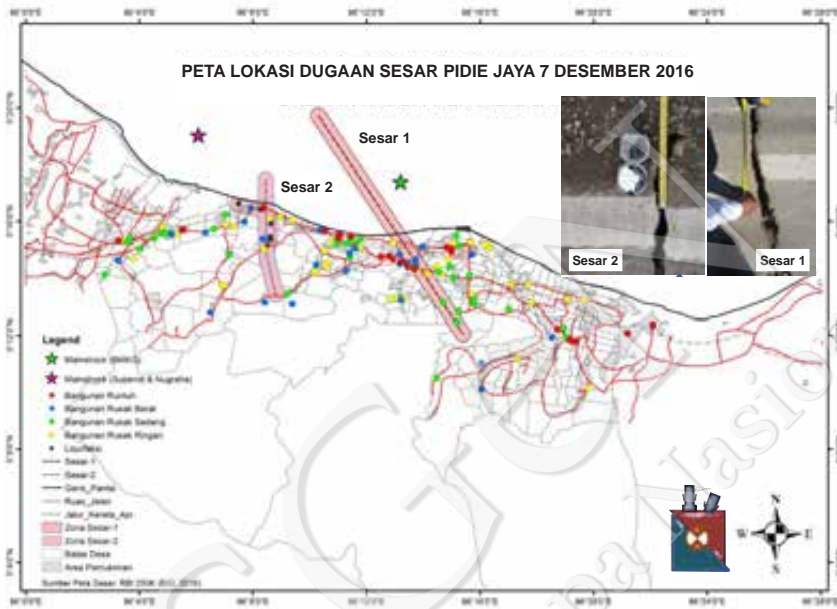
Gambar 101 Keseuaian lokasi sesar Pidie Jaya (garis putus merah) dengan data seismik. Focal Mechanisme dan sebaran aftershock gempa Pidie Jaya 2016, jingga: Aftershock BMKG hingga 14 Desember 2016, Magenta: Aftershock Pokja Seismologi hingga 11 Januari 2017.



Gambar 102 Lokasi sesar Pidie Jaya berdasarkan kesesuaian data geologi-seismologi-geodesi dan observasi lapangan

Hasil Awal Konklusi Sumber Gempa

Dari hasil analisis tersebut, lokasi dugaan sesar dianalisis terjadi pada dua lokasi patahan sebagaimana tergambar pada gambar 106.



Gambar 103 Peta lokasi mainshock gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016 dan lokasi dugaan sesar.



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



11. Analisis Model *Shakemap* PGV terhadap Dampak Gempa Pidie Jaya

Muzli, Angga S. Prayogo, Rasmid, Furqon D. Raharjo, Fauzi, Tommy Ardiyansyah, Rilza Nur Akbar, Lewi Ristiyono, Ardian Yudhi Octantyo, R.B. Yanuar Hary W.H

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran, Jakarta Pusat

11.1 Survei Makroseismik

BMKG melaksanakan survei makroseismik gempa Pidie Jaya yang dimulai pada tanggal 8 Desember 2016 sampai dengan 12 Desember 2016. Adapun tujuan pelaksanaan survei gempa Pidie Jaya adalah:

- i. menyampaikan informasi terkait gempa kepada masyarakat
- ii. melakukan pengamatan dampak gempa
- iii. melakukan pengamatan gempa susulan
- iv. melakukan pengukuran *microtremor* untuk analisis periode dominan (Tdom)

Kegiatan survei lapangan terdiri atas beberapa bagian, yaitu observasi dampak gempa, pengamatan *aftershock*, validasi episenter, validasi skala intensitas gempa (SIG) BMKG, dan pengukuran *microtremor*.

a. Observasi dampak gempa

Observasi atau pengamatan dampak gempa dilakukan di sekitar wilayah berdampak, yaitu Kabupaten Pidie Jaya dan sekitarnya. Distribusi bangunan atau kepadatan penduduk pada umumnya berada sepanjang jalan lintas Medan-Banda Aceh atau dalam arah barat-timur. Sementara itu, wilayah bagian selatan pusat Kota Pidie Jaya merupakan wilayah pegunungan. Wilayah ini tidak dihuni oleh penduduk. Oleh karena itu, pengamatan dampak gempa praktis telah dilakukan secara dominan dalam arah barat-timur. Pengamatan telah dilakukan mulai dari wilayah berdampak tidak merusak paling barat sampai paling timur dari pusat Kota Pidie Jaya. Titik-titik pengamatan dilakukan dengan interval kurang lebih lima kilometer. Pengamatan dampak gempa dilakukan secara visual dengan dokumentasi foto dan penentuan arah geografis. Secara keseluruhan, telah dilakukan pengamatan terhadap sejumlah 49 titik. Hasil pengamatan diidentifikasi dalam SIG BMKG (Muzli, dkk., 2016) dengan klasifikasi sebagai berikut (tabel 12):

Tabel 13. Klasifikasi dampak gempa

No.	Tingkat Dampak	Skala Dampak	Warna Skala Dampak
1.	Rusak Berat	5	Merah
2.	Rusak Sedang	4	Jingga
3.	Rusak Ringan	3	Kuning



4.	Tidak ada kerusakan	2	Hijau
----	---------------------	---	-------

b. Monitoring aftershock

Tim survei melakukan pengamatan *aftershock* atau gempa susulan dengan memasang masing-masing 1 buah seismograf secara stasioner di 3 lokasi. Pengamatan gempa susulan dimulai pada tanggal 9 Desember 2016 sampai dengan 11 Desember 2016. Hasil lokasi dan magnitudo gempa susulan berdasarkan data survei lapangan belum dapat dilaporkan karena masih dalam proses pengolahan.

c. Validasi episenter gempa

Validasi episenter dilakukan berdasarkan pemetaan area kerusakan akibat gempa serta analisis lokasi patahannya.

1. Pemetaan dampak gempa

Sebagaimana diketahui bahwa selain BMKG, terdapat beberapa institusi internasional yang juga mengeluarkan parameter gempa Pidie Jaya. Institusi yang dimaksud adalah United States Geological Survey (USGS) dan Geo ForschungsZentrum Potsdam (GFZ-Potsdam). Tim survei gempa dalam hal ini melakukan validasi tingkat akurasi parameter hiposenter gempa dari ketiga institusi tersebut. Pengamatan dampak gempa dilakukan di sekitar wilayah episenter ketiga institusi.

2. Analisis lokasi patahan

Tim survei juga melakukan analisis posisi episenter berdasarkan peta tatanan tektonik wilayah Pidie Jaya secara khusus dan Aceh secara umum. Lokasi patahan berdasarkan referensi yang terdekat adalah sesar Samalanga-Sipopok berada pada arah timur hiposenter BMKG dengan jarak kurang lebih 12 km. Oleh karenanya, penentuan sesar yang menyebabkan gempa Pidie Jaya harus dilakukan dengan data dukung yang lain, misalnya geologi struktur atau data rekahan tanah permukaan di sekitar lokasi gempa jika terlihat.

d. Validasi SIG BMKG

Salah satu tujuan dari pengamatan dampak gempa Pidie Jaya adalah untuk melakukan validasi terhadap SIG-BMKG. Metode yang dilakukan adalah dengan membuat model *peak ground velocity* (PGV) di sekitar wilayah berdampak berdasarkan parameter hiposenter. Pada skala SIG-BMKG, telah dikelompokkan tingkat dampak gempa berdasarkan nilai PGV. Model ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengamatan dampak gempa di lapangan.

Metode ini sekaligus dapat digunakan juga untuk validasi akurasi hiposenter dari berbagai institusi. Metodenya adalah dengan membuat model kecepatan maksimum berdasarkan parameter dari ketiga institusi. Hasil model guncangan dalam bentuk kecepatan tersebut kemudian dibandingkan dengan fakta hasil pengamatan dampak gempa. Secara objektif, fakta di lapangan akan menunjukkan kesesuaian dengan model kecepatan yang telah dibuat. Kesesuaian



yang relatif lebih baik dari salah satu model yang dibuat menunjukkan tingkat akurasi hiposenter yang relatif lebih baik.

e. Pengukuran *microtremor*

Salah satu faktor penyebab dampak kerusakan pada bangunan adalah struktur tanah permukaan yang relatif lunak. Pengamatan klasifikasi struktur tanah permukaan secara sederhana dapat dilakukan dengan pengukuran *microtremor* atau *noise*. Data *microtremor* tersebut dapat diolah dengan metode *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSr) untuk menentukan periode dominan (T_{dom}) tanah permukaan. Metode ini dapat juga digunakan untuk estimasi faktor amplifikasi.

Pengukuran *microtremor* telah dilakukan dalam kegiatan survei terhadap beberapa lokasi. Jumlah titik pengukuran sebanyak 20 lokasi dengan interval kurang lebih 5 km. Pengukuran *noise* dilakukan dengan durasi selama 10 menit.

11.2 Hasil Survei dan Pembahasan

Hasil sementara yang diperoleh adalah analisis lokasi kerusakan berdasarkan orientasi kerusakan dan pemetaan kerusakan di beberapa tempat.

3.1 Orientasi Kerusakan dan Kepadatan Bangunan

Dampak kerusakan secara dominan dapat diamati dalam arah barat-timur. Meskipun demikian, dampak ini tidak dapat digunakan sepenuhnya untuk interpretasi *strike* dari mekanisme gempa. Hal ini disebabkan distribusi lokasi bangunan di sekitar wilayah berdampak dominan berada dalam arah barat-timur. Sementara itu, dalam arah utara-selatan, khususnya pada arah selatan relatif tidak ada bangunan karena wilayah tersebut merupakan pegunungan.

3.2 Pemetaan Kerusakan

Fenomena yang sangat menarik berdasarkan hasil pengamatan yang kami lakukan adalah penentuan lokasi rusak berat. Kategori rusak berat dapat diindikasikan berdasarkan pengamatan bangunan roboh atau dalam keadaan rusak berat meskipun tidak roboh total. Hal ini menarik untuk diperhatikan sebagaimana ditunjukkan hasil dokumentasi secara lengkap di tiap titik kerusakan dan pengukuran *microtremor* yang disampaikan dalam lampiran dokumentasi. Pada gambar 106, ditunjukkan bahwa pada lokasi bangunan rusak berat terdapat bangunan dengan penampakan fisik sama di sekitarnya yang relatif sangat dekat, tetapi hanya mengalami kerusakan sedang bahkan ringan.

Hal ini terjadi pada beberapa lokasi. Salah satu contohnya adalah pesantren di wilayah Samalanga, Kab. Bireun. Fenomena ini dapat memberikan petunjuk bahwa robohnya bangunan atau mengalami rusak berat disebabkan oleh dua kemungkinan, yaitu faktor letak bangunan pada tanah permukaan yang sangat lunak atau faktor struktur bangunan yang tidak memenuhi standar. Validasi kasus ini dapat dilakukan dengan memperhatikan hasil pengukuran T_{dom} dari kedua lokasi, baik yang mengalami rusak berat maupun ringan.



Gambar 104. Bangunan STAI Al Aziziah (sebelah kanan foto) roboh dengan lantai 1 hancur, sedangkan bangunan rumah (sebelah kiri foto) hanya mengalami rusak ringan

3.3 Hasil *Aftershock*

Hasil lokasi dan magnitudo gempa susulan berdasarkan data survei lapangan belum dapat dilaporkan karena masih dalam proses pengolahan.

3.4 *Shakemap* Skala Intensitas Gempa

Hasil *shakemap* dalam bentuk PGV sesuai SIG-BMKG ditampilkan dalam lampiran. Model *shakemap* telah dibuat berdasarkan parameter hiposenter gempa utama dari institusi BMKG, USGS, dan GFZ-Potsdam.

Peta guncangan atau *shakemap* dapat digambarkan dalam PGA atau PGV. Intensitas sebagaimana SIG-BMKG dan MMI atau yang lainnya mengacu kepada parameter ini. Worden, dkk. (2011) dan beberapa referensi lain menyebutkan bahwa PGV berkorelasi relatif lebih baik dengan dampak gempa (kerusakan). Meskipun demikian, intensitas diperoleh berdasarkan gabungan parameter PGA dan PGV dengan pembobotan yang lebih besar pada PGV.

Analisis ini mencoba untuk menampilkan hal baru berupa *shakemap* PGV yang di-*overlay* dengan dampak gempa. Hasil model *shakemap* sebagaimana ditunjukkan dalam gambar menegaskan bahwa PGV relatif representatif terhadap dampak gempa. Demikian juga halnya dengan pengelompokan yang telah dibuat dalam SIG-BMKG berdasarkan parameter ini.

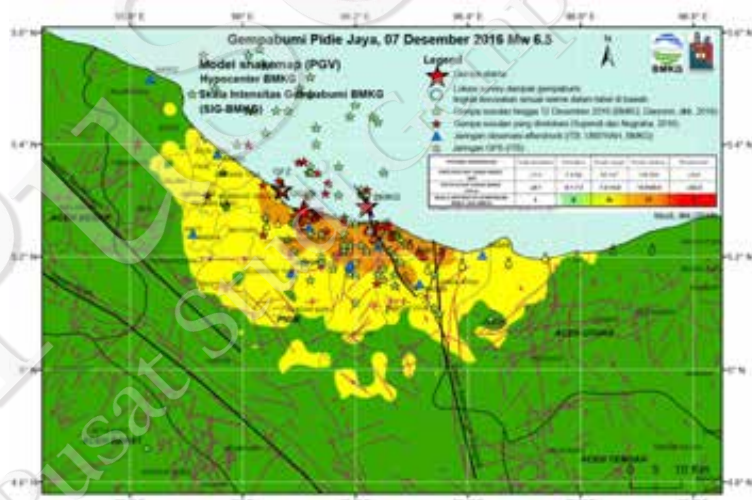
Model peta guncangan atau *shakemap* berdasarkan PGV telah dibuat dengan parameter input sumber gempa yang berbeda. Tiga institusi internasional (BMKG, USGS dan GFZ) mengeluarkan parameter hiposenter yang sebagaimana dalam tabel 13.

Tabel 13. Parameter sumber gempa Pidie Jaya dari tiga institusi internasional

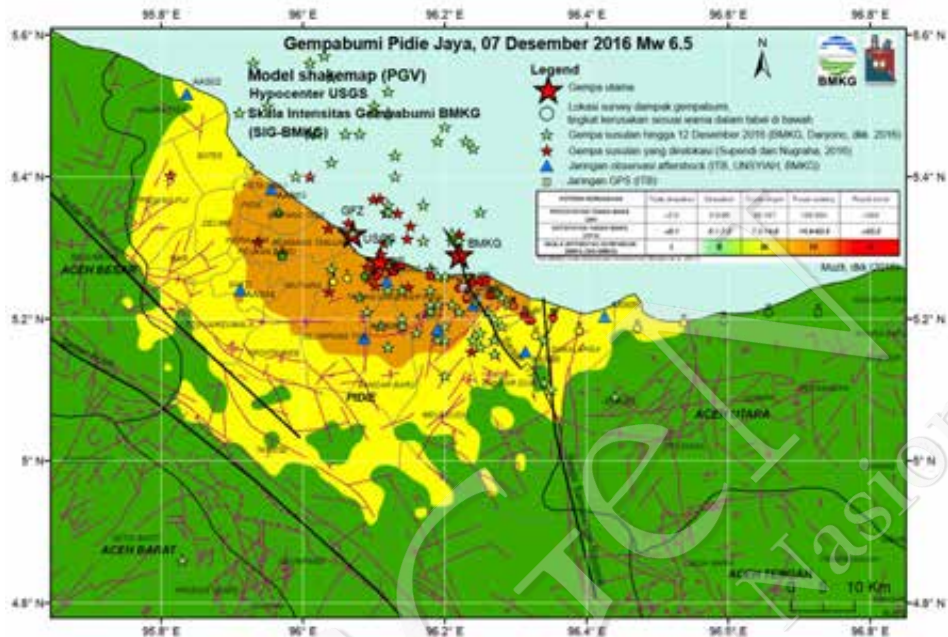
No	Waktu	Lintang (°LU)	Bujur (°BT)	Mag (M _w)	Kedalaman (km)	Sumber
1	2016/12/07 5:03:35	5.290	96.220	6.5	15	BMKG
2	2016/12/07 5:03:32	5.281	96.108	6.5	8.2	USGS
3	2016/12/07 5:03:33	5.320	96.070	6.5	10	GFZ

Hasil *overlay shakemap* dengan data dampak akibat gempa Pidie Jaya menunjukkan bahwa lokasi hiposenter/episenter BMKG relatif lebih sesuai dengan fakta dampak gempa di lapangan. Meskipun demikian, catatan penting yang harus diperhatikan atau asumsi bahwa lokasi bangunan mengalami rusak berat, tetapi bangunan di sampingnya mengalami rusak ringan dapat diklasifikasi sebagai lokasi rusak sedang.

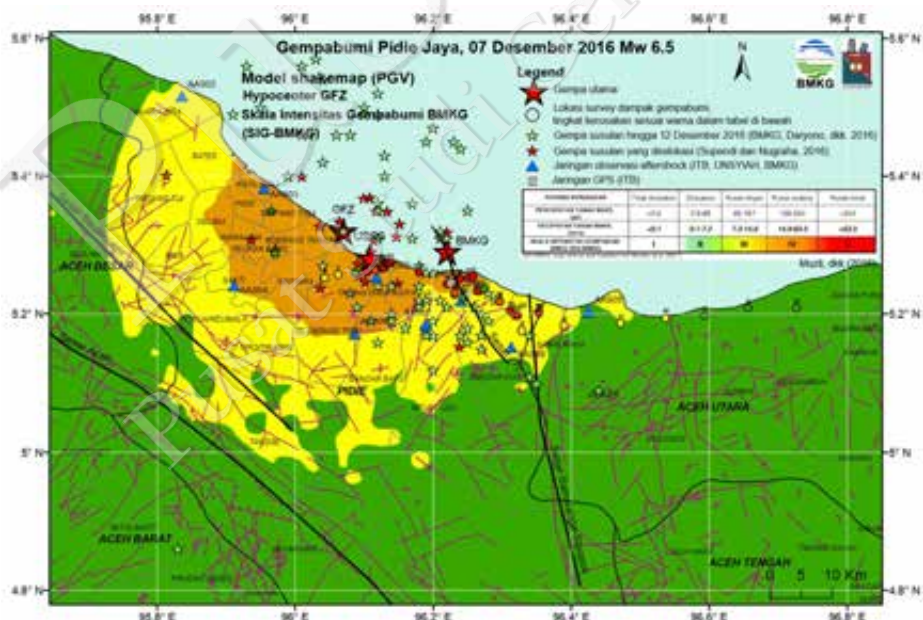
Pada sisi yang lain, sebagian peneliti menunjukkan bahwa hasil relokasi *aftershock* relatif lebih sesuai dengan lokasi gempa utama berdasarkan parameter dari USGS atau GFZ-Potsdam. Gambar 107 sampai dengan 109 menunjukkan *update shakemap* PGV dengan tambahan data *aftershock* yang belum dan sudah direlokasi dari instansi yang berbeda.



Gambar 105 Update shakemap PGV dengan tambahan data aftershock belum direlokasi (bintang kecil hijau) dan relokasi (bintang kecil merah), berturut-turut dari Daryono (BMKG) dan Andri DN dan Pepen (ITB), juga update model shakemap berdasarkan episenter updated BMKG (Muzli, dkk., 2016)



Gambar 106 Updated shakemap PGV dengan tambahan data aftershock belum direlokasi (bintang kecil hijau) dan relokasi (bintang kecil merah), berturut-turut dari Daryono (BMKG) dan Andri DN dan Pepen (ITB), juga updated model shakemap berdasarkan episenter USGS (Muzli, dkk, 2016)



Gambar 107 Update shakemap PGV dengan tambahan data aftershock belum direlokasi (bintang kecil hijau) dan relokasi (bintang kecil merah), berturut-turut dari pak Daryono (BMKG) dan pak Andri DN dan pak Pepen (ITB), juga update model shakemap berdasarkan episenter updated GFZ (Muzli, dkk, 2016)

3.5 Periode Dominan (Tdom)

Pengolahan data *microtremor* untuk menentukan nilai Tdom belum selesai dilakukan sehingga belum dapat ditunjukkan dalam laporan ini.

11.3 Dokumentasi

Dokumentasi dari dampak gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016 yang diurutkan berdasarkan bujur, mulai dari bujur terendah sampai bujur tertinggi disampaikan dalam foto-foto berikut ini.





<p>9.</p>	<p>10.</p>
<p>11.</p>	<p>12.</p>
<p>13.</p>	<p>14.</p>
<p>15.</p>	<p>16.</p>



	
17.	18.
	
19.	20.
	
21.	22.
	
23.	24.



	
25.	26.
	
27.	28.
	
29.	30.
	
31.	32.



33.



34.



35.



36.



37.



38.



39.



40.



	
41.	42.
	
43.	44.
	
45.	46.
	
47.	48.



49.



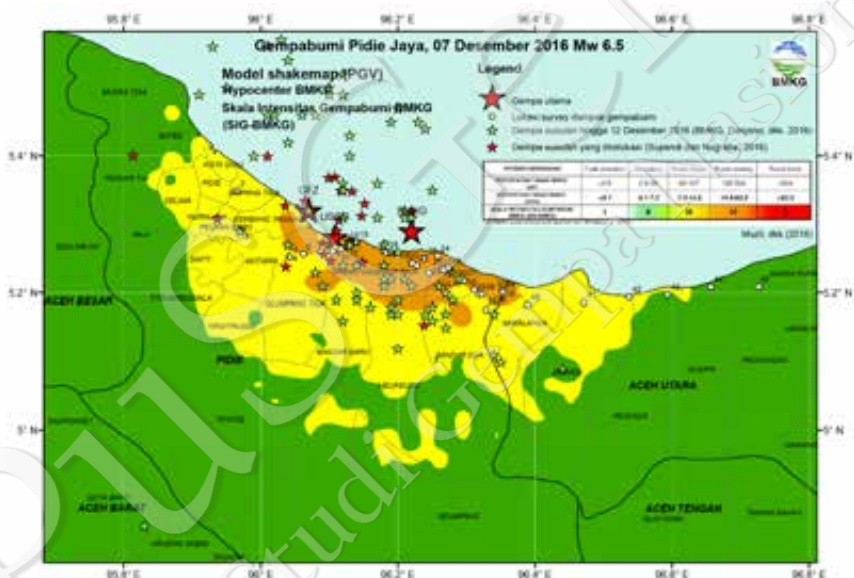


PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional

12. Antisipasi Guncangan Gempa Dalam Peta Gempa Nasional

Asrurifak dan Masyhur Irsyam
Pusat Penelitian Mitigasi Bencana, ITB
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB

Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh BMKG, gempa ini mengakibatkan tingkat guncangan di wilayah Pidie Jaya dengan intensitas IV pada skala intensitas gempa BMKG (SIG-BMKG) setara dengan VII-VIII MMI. Dari beberapa stasiun *accelerometer* yang terpasang di wilayah ini, besar percepatan guncangan gempa di permukaan tanah berkisar antara 0,16–0,50 g (gambar 110).

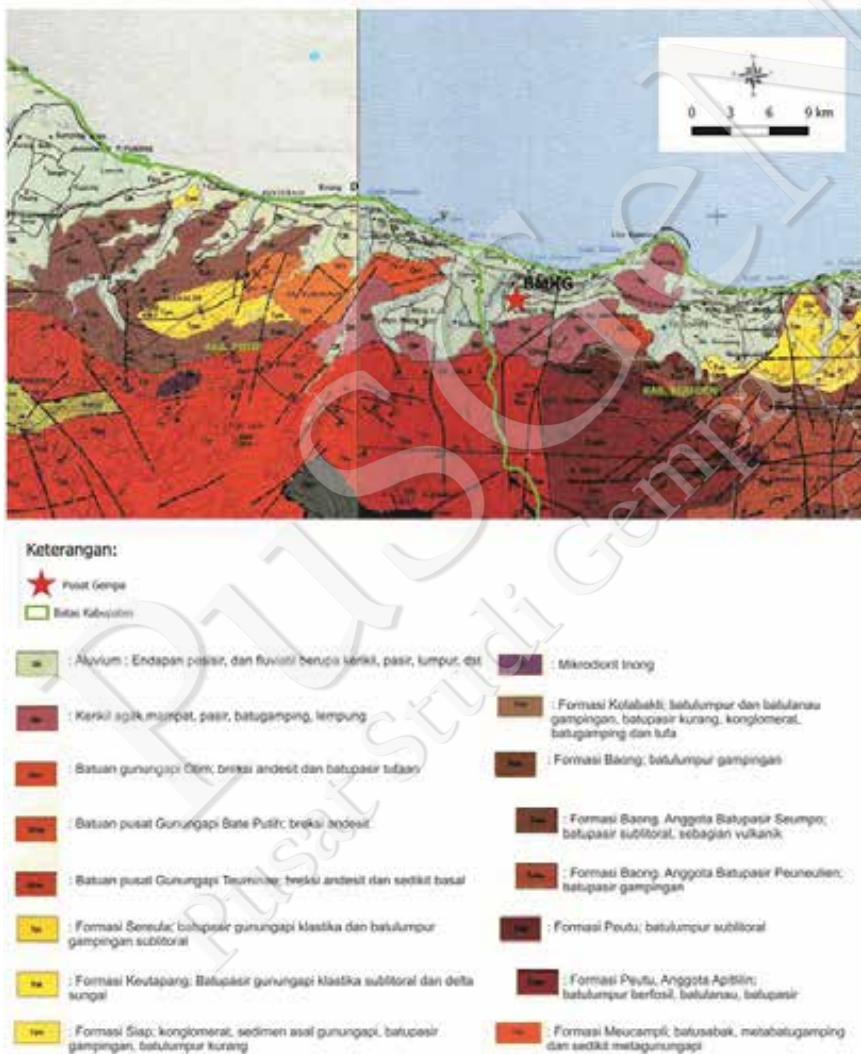


Gambar 108 Peta intensitas gempa Pidie 7 Desember 2016 (Sumber: Muzli, BMKG)

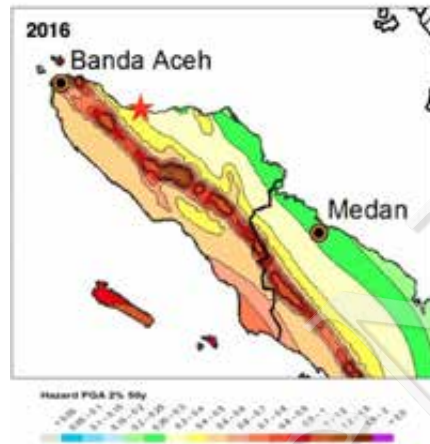
Dengan mempertimbangkan *site class* berdasarkan profil tanah dari peta geologi yang diperkirakan berkisar dari S_D di sekitar pantai sampai S_C menjauh dari pantai (gambar 112), maka faktor amplifikasi pembesaran guncangan gempa dari batuan dasar ke permukaan sesuai SNI 03-1726-2012 adalah sekitar 1.2 sampai 1.6. Sehingga percepatan di batuan dasar PGA (*Peak Ground Acceleration*) diperkirakan berkisar antara 0.10 sampai 0.40 g di daerah Pidie.

Berdasarkan peta *Probabilistic Seismic Hazard* Indonesia yang sudah dipublikasikan tahun 2010, nilai percepatan gempa PGA di batuan dasar untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun) diestimasikan antara 0,3-0,5 g. Dengan demikian, besar guncangan gempa yang terjadi pada tanggal 7 Desember 2016 tersebut sudah diantisipasi dalam Peta PSHA Indonesia tahun 2010. Meskipun sesar Pidie belum dimodelkan sebagai *active fault* dalam perhitungan *probability*

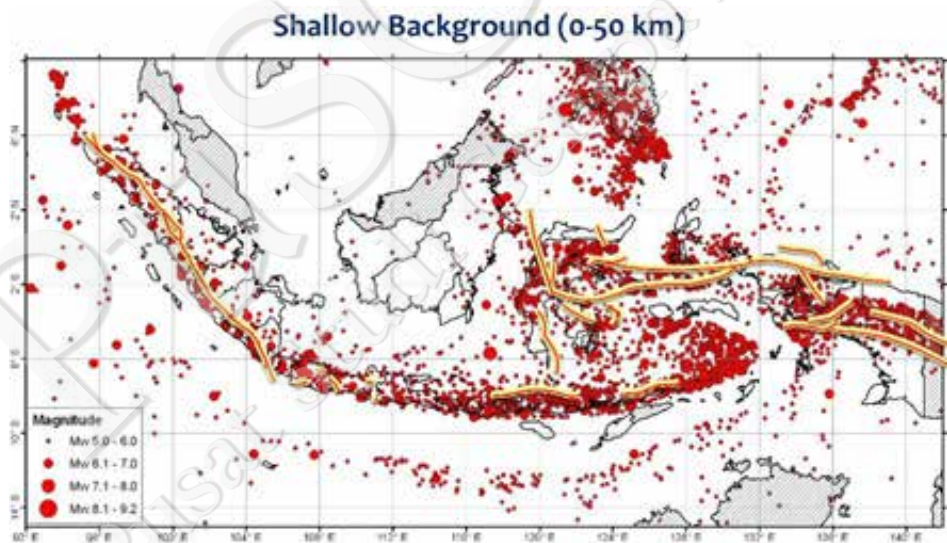
seismic hazard (PSHA), episenter-episenter yang pernah tercatat sebelumnya di Aceh dan di seluruh Indonesia telah diperhitungkan dan diakomodir dengan model *background seismicity*. Sementara itu, berdasarkan hasil awal peta hazard gempa Indonesia tahun 2016 pada batuan dasar kondisi PGA untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun), PGA di sekitar episenter diprediksi 0,2-0,3 g. Angka ini baru dihitung dari sesar darat, tetapi belum memperhitungkan sumber gempa megathrust dan background. Dengan demikian, peta 2016 yang baru diperkirakan nilai PGA di batuan dasar di sekitar Pidie bisa lebih besar dari 0,4 g (Gambar 112).



Gambar 109 Peta geologi daerah Pidie Jaya dan sekitarnya (Peta Geologi Lembar Banda Aceh dan Lhokseumawe)



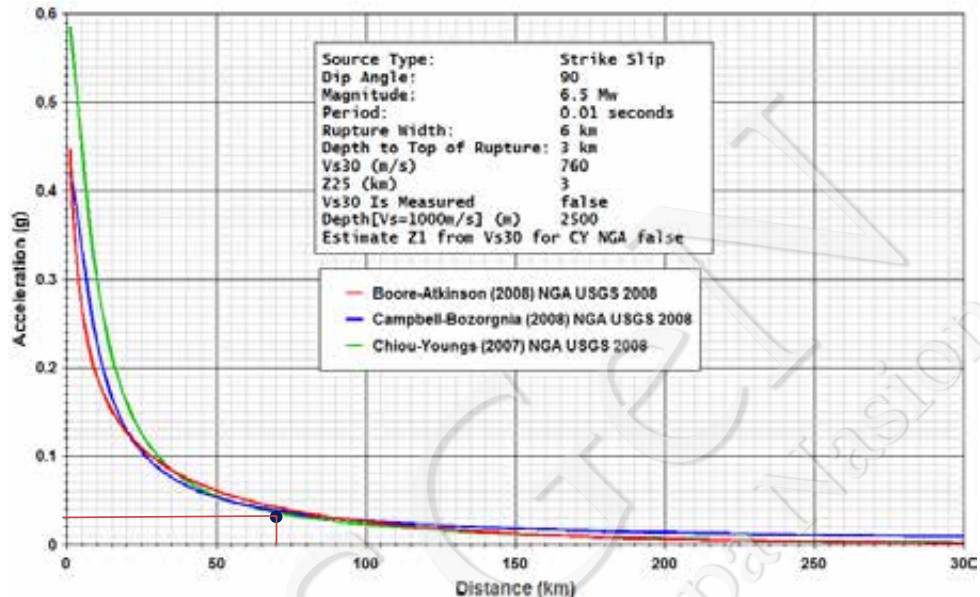
Gambar 110 Hasil awal peta hazard gempa Indonesia tahun 2016 PGA di batuan dasar untuk 2% PE 50 tahun (periode ulang 2500 tahun), yang dihitung dari sesar darat, namun belum memperhitungkan sumber gempa megathrust dan background.



Gambar 111. Model gridded/smoothed seismicity digunakan untuk mengestimasi rate dari kejadian gempa sedang yang akan datang di daerah sesar dan gempa-gempa acak di luar sesar (Petersen et al., 2008).

Berdasarkan gambar 114, grafik hubungan antara percepatan dan jarak untuk model atenuasi *shallow crustal* (fault and shallow background), terlihat bahwa hasil observasi lapangan BMKG dekat dengan prediksi rumus atenuasi *shallow crustal*. Dengan demikian, rumus atenuasi NGA ini bisa diaplikasikan untuk wilayah Aceh dan sekitarnya. Dengan mengacu pada rumus atenuasi ini, diperkirakan percepatan di sekitar lokasi adalah 0.3–0.5 g, dengan rata-rata 0.4 g.

Angka ini sesuai dengan perkiraan yang diberikan oleh Peta Gempa Nasional 2010. Dengan demikian, nilai percepatan ini sudah diantisipasi dengan baik di Peta Gempa Nasional 2010.



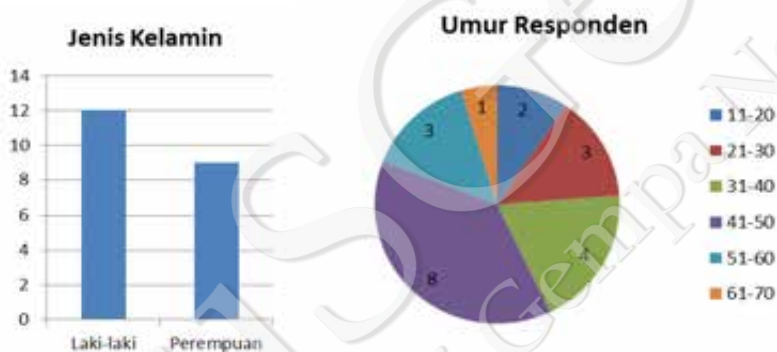
Gambar 112 Grafik percepatan terhadap jarak untuk model Atenuasi Shallow Crustal (Fault & shallow BG)

13. Respon Masyarakat

N. Rahma Hanifa¹, Refi Rizqi Ramadian¹, Bagoes Dwi Ramdhani¹, Irwan Meilano¹, Suchi Rahmadhani¹

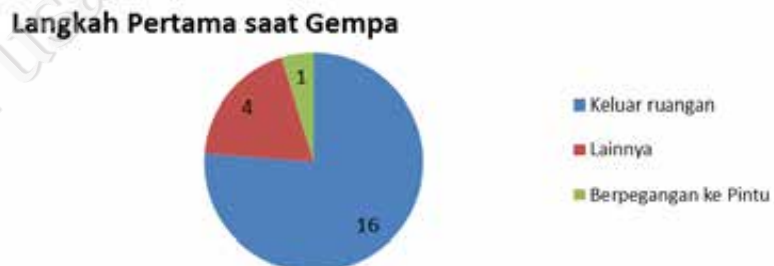
¹Departemen Teknik Geodesi dan Geomatika, FITB, Institut Teknologi Bandung

Survei respon masyarakat dilakukan pada tanggal 11-15 Desember 2016 dengan melakukan wawancara terhadap masyarakat kabupaten Pidie Jaya yang mengalami gempa M6.5 pada tanggal 7 Desember. Lokasi koresponden masyarakat terdistribusi dari Desa Meucat, Desa Deah Pangwa, Kota Mereudu, Desan Meunasah Jurong, Desa Ulim, Meunasah Balek, Meunasah Pulo. Wawancara dilakukan kepada 21 koresponden. Gambaran umum mengenai responden divisualisasikan pada Gambar 115.



Gambar 113 Jenis Kelamin dan Umur Responden

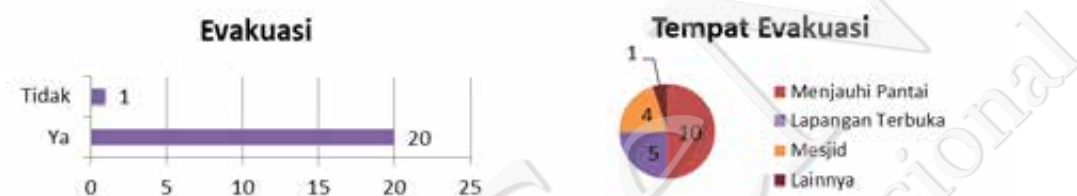
Masyarakat yang terdampak gempa Pidie Jaya tampaknya sudah mengerti mengenai apa yang harus dilakukan ketika gempa terjadi. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 116 yang menunjukkan bahwa 77% responden langsung berlari keluar rumah saat ada gempa. Sementara itu, ada juga yang berpegangan ke benda yang lebih kuat seperti pintu. Empat responden mengaku menyelamatkan anaknya terlebih dahulu kemudian keluar ruangan.



Gambar 114 Langkah yang pertama dilakukan saat gempa

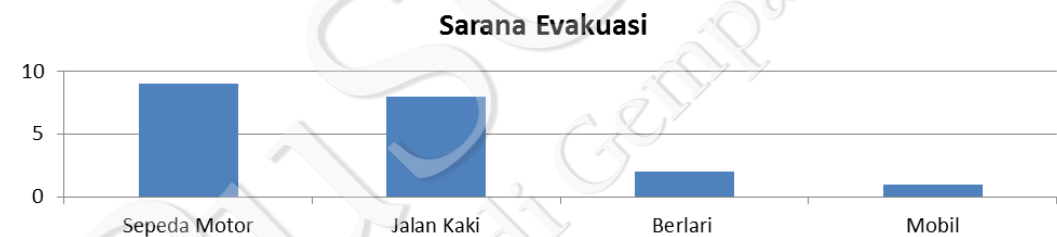
Masyarakat Pidie Jaya kebanyakan masih tertidur saat gempa terjadi. Mereka merasakan guncangan yang lebih hebat dibanding gempa 2004. Selain itu, gempa dirasakan menggoncang secara vertikal.

Hampir seluruh masyarakat Pidie Jaya melakukan evakuasi sesaat setelah gempa terjadi. 20 responden (95%) mengaku meninggalkan rumah untuk evakuasi seperti pada gambar 118. Ternyata, sebagian besar masyarakat menyelamatkan diri menjauhi pantai (48%). Sementara itu, masyarakat lainnya tersebar ke beberapa tempat seperti lapangan terbuka, masjid, dan lain-lain.



Gambar 115. Jumlah responden yang melakukan evakuasi, serta pemilihan tempat evakuasi

Sementara itu, sarana yang digunakan masyarakat saat evakuasi kebanyakan berupa sepeda motor (45%), berjalan kaki (40%), berlari (10%), dan mobil (5%) seperti pada gambar 118.



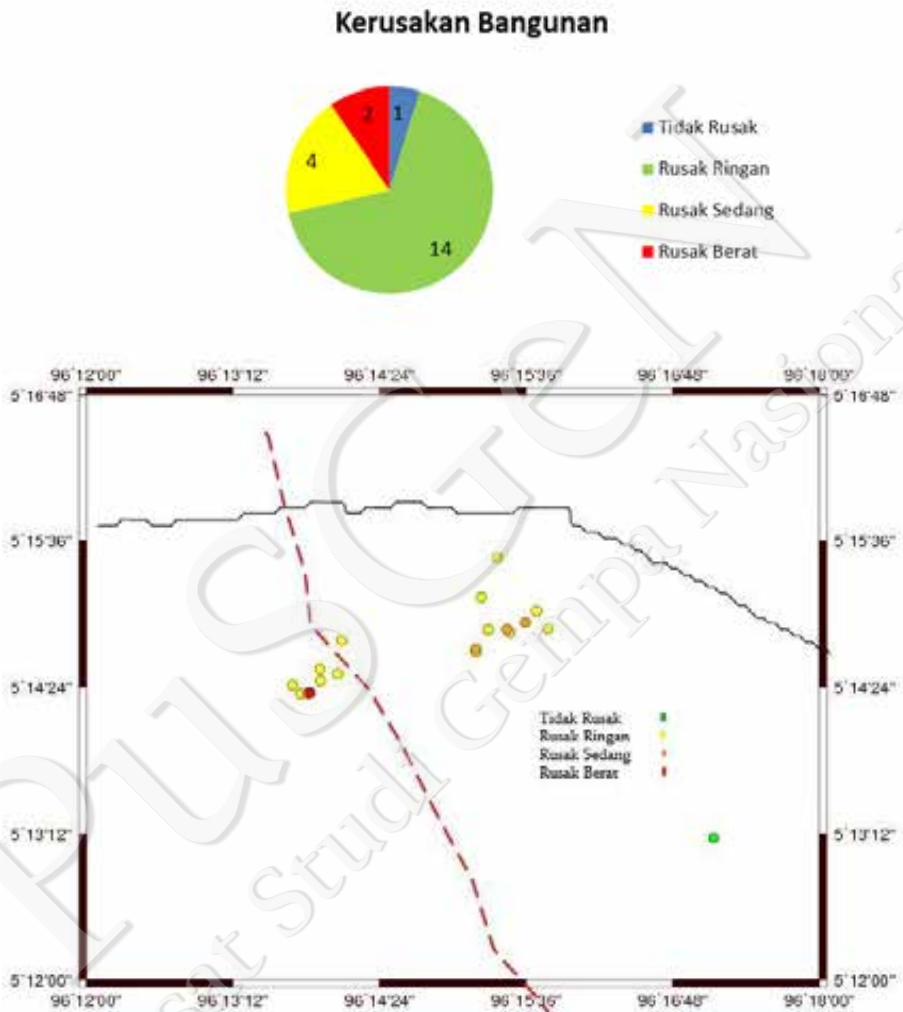
Gambar 116 Saran Evakuasi yang digunakan

Berdasarkan hasil wawancara, Kabupaten Pidie Jaya belum siap menghadapi bencana gempa. Hal ini ditandai dengan kurangnya pengetahuan masyarakat mengenai tempat evakuasi sementara (TES) dan jalur evakuasi yang harus digunakan. Pemerintah setempat sendiri belum menetapkan TES dan jalur evakuasi. Sebanyak 5 responden mengaku mengikuti perintah kepala desa (*geuchik*) untuk evakuasi ke Masjid Gampong seperti pada gambar 119.



Gambar 117 Tempat Evakuasi Sementara dan Pengetahuan responden mengenai Jalur Evakuasi

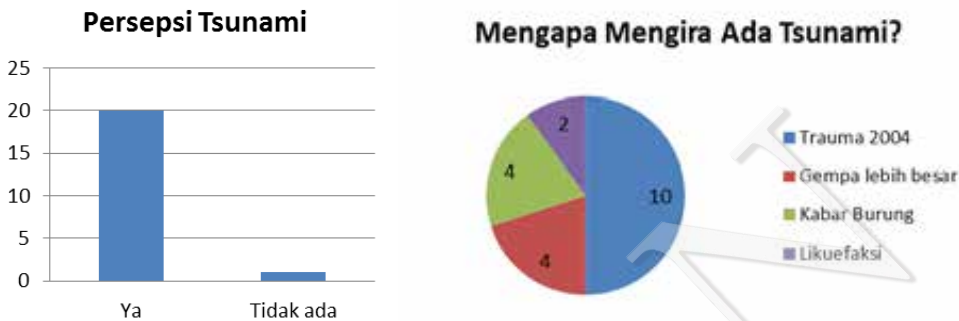
Dampak gempa 7 Desember 2016 menyebabkan beberapa kerusakan pada rumah responden. Tingkat kerusakan bangunan ditunjukkan pada pambar 120, sedangkan sebaran spasialnya ditunjukkan pada peta.



Gambar 118 Persepsi responden terhadap kerusakan bangunan mengacu pada SIG BMKG

Masyarakat Pidie Jaya kebanyakan mengira gempa 7 Desember 2016 diikuti tsunami (95%). Hanya satu responden yang mengatakan tidak. Menariknya, masyarakat mengira gempa diikuti tsunami 50% karena trauma sejak gempa Aceh 2004 silam. Sementara itu, 4 responden mengaku merasa gempanya yang sangat besar sehingga mengira diikuti tsunami dan 4 lainnya mendapatkan info kabar burung yang tidak jelas asalnya. Dua responden yang ditemui di sekitar Pantai Manohara, utara Meureudu, mengaku mengira air yang keluar dari celah tanah

(*liquefaction*) sebagai tsunami. Gambar 121 menunjukkan persepsi responden terhadap tsunami.



Gambar 119 Persepsi Responden terhadap potensi tsunami

Gempa 7 Desember 2016 sesuai info dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) ternyata tidak berpotensi tsunami. Apakah masyarakat mendapat info tersebut? Ternyata hanya 24% responden yang mendapat info tersebut, sementara 76% sisanya mengaku tidak tahu. Jika ditelusuri, responden menerima info tidak berpotensi tsunami sekitar pukul 7 (~2 jam setelah gempa). Responden mendapatkan info tersebut dari BMKG maupun kerabat.



Gambar 120 Perolehan informasi tsunami

Dari hasil wawancara, disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Masyarakat rata-rata masih tertidur saat gempa terjadi. Mereka merasakan guncangan yang lebih besar dibanding gempa 2004. Selain itu, gempa Pidie 2016 guncangan vertikal cepat sangat dominan dibanding Gempa 2004 yang mengayun horizontal. Saat gempa terjadi, masyarakat berbondong-bondong pergi menjauhi pantai karena berpikir terjadi tsunami. Masyarakat menyangka terjadi tsunami akibat adanya air keluar dari celah tanah (*liquefaction*).
- Proses evakuasi kebanyakan dilakukan oleh orang per orang karena memang belum ditentukan tempat dan jalur evakuasinya. Sempat terjadi kemacetan di jalur-jalur jalan yang menjauhi pantai tetapi masih terbilang lancar.
- Pada hari rabu, rata-rata masyarakat bertahan hingga siang hari di tempat evakuasi/pengungsian yang biasa berada di meunasah/masjid desa. Siangnya mereka pulang ke rumah sekadar untuk mengecek keadaan rumah dan mengambil barang berharga. Pada malam hari, kebanyakan akan kembali ke tenda-tenda pengungsian karena masih trauma.

Dokumentasi survei respon masyarakat terdampak gempa Pidie Jaya tanggal 7 Desember 2016 terhadap beberapa pertanyaan mengenai masalah gempa disampaikan pada gambar 123 sampai gambar 127.



Gambar 121 Survei respon masyarakat melalui kegiatan wawancara dan diskusi



Gambar 122 Survei Respon Masyarakat Melalui kegiatan Wawancara dan Diskusi



Gambar 123 Penyerahan pompa penyaring air bersih diterima oleh Kepala Desa Meucat Kab. Pidie Jaya



Gambar 124 Liquefaction yang terjadi pada beberapa lokasi terdampak dari gempa Pidie Jaya M6.5 2016



Gambar 125 Ruko yang rusak berat dan ruko yang rusak ringan berdampingan, di Pasar Meureudu. (Foto Pokja Geodesi PuSGeN)



14. Simpulan

Dari kejadian gempa Pidie Jaya pada tanggal 7 Desember 2016, telah dilakukan proses identifikasi, analisis berdasarkan hasil pengamatan di lapangan terhadap deformasi permukaan, kerusakan bangunan, beberapa simpulan dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Pentingnya observasi terus-menerus fenomena gempa dan akibatnya, dengan pemasangan instrumentasi seperti di negara-negara maju,
2. Perlunya partisipasi aktif seluruh pemanku kepentingan kebencanaan untuk turut serta melakukan pengamatan dan fenomena bencana gempa,
3. Perlunya kesadaran untuk meningkatkan mutu perencanaan gedung dan infrastruktur tahan gempa yang sesuai dengan peraturan yang ada.
4. Kerusakan bangunan disebabkan tidak dipenuhi persyaratan teknis bangunan, seperti
 - i. kualitas beton sangat rendah,
 - ii. tidak menggunakan agregat batu pecah sebagai agregat kasar,
 - iii. masih menggunakan tulangan polos sebagai tulangan utama,
 - iv. detail tulangan pada sambungan balok dan kolom,
 - v. penyambungan tulangan dari *pilecap* atau pondasi yang kurang panjang,
 - vi. dinding yang tidak diangkurkan dengan baik pada kolom,
 - vii. dinding samping yang tidak terkekang dengan baik
5. Kerusakan masjid sebagian besar akibat tidak mampu menahan berat kubah dengan struktur beton yang cukup berat,
6. Kaidah-kaidah/filosofi struktur tahan gempa tidak digunakan, seperti kolom kuat balok lemah, pada saat gempa besar struktur bangunan tidak diperkenankan roboh (*collapse*). Struktur bangunan harus masih berdiri walaupun mengalami kerusakan struktur yang berat. Dengan demikian, penghuni masih punya waktu dan dapat menyelamatkan diri,
7. Perubahan fungsi bangunan yang sebelumnya hanya untuk rumah tinggal atau ruko menjadi tempat sarang burung walet. Penambahan jumlah lantai ini sepertinya tidak ada pengawasan dan persetujuan pihak berwenang.
8. Karakteristik dinamik bangunan atau *local soil effect* memiliki pengaruh yang signifikan, ditunjukkan dengan adanya bangunan yang mengalami keruntuhan, sedangkan bangunan sejenis di sekitarnya tidak; zona yang terkena dampak gempa dalam arah barat ke timur mencapai 35 km.
9. Pengamatan dampak gempa sebaiknya dilakukan dengan titik-titik pengamatan konsisten dalam interval tertentu. Hal ini dapat menghindari subjektivitas hasil pengamatan. Pada umumnya, survei dilakukan dengan melihat titik-titik terjadi kerusakan. Padahal, bangunan yang masih utuh berdiri atau hanya mengalami kerusakan ringan berada di sekitar lokasi tempat bangunan mengalami rusak berat juga mewakili data pada wilayah pengamatan tersebut.
10. Berdasarkan data hasil pengamatan dampak gempa yang di-*overlay* terhadap model kecepatan maksimum yang dihasilkan dari parameter episenter ketiga institusi yaitu BMKG, USGS dan GFZ, dapat disimpulkan bahwa lokasi hiposenter/episenter BMKG relatif lebih sesuai dengan fakta di lapangan sebagai dampak dari gempa.
11. Akurasi hiposenter sangat menentukan akurasi model peta guncangan atau *shakemap*.

12. Berdasarkan lokasi episenter yang relatif jauh dari sesar yang telah dipetakan, penyebab gempa Pidie Jaya diduga akibat sesar yang belum teridentifikasi.
13. Pengelompokan nilai PGV dalam skala SIG-BMKG sesuai dengan fakta dampak gempa Pidie Jaya dengan catatan penting yang harus diperhatikan atau asumsi bahwa lokasi bangunan mengalami rusak berat. Akan tetapi, bangunan di sampingnya mengalami rusak ringan dapat diklasifikasi sebagai lokasi rusak sedang.
14. Kerusakan bangunan yang terjadi di Pidie Jaya, khususnya yang mengalami rusak berat secara umum, disebabkan oleh struktur yang tidak memenuhi standar bangunan tahan gempa.
15. Pelajaran yang dapat diambil selain dari beberapa pernyataan simpulan tersebut adalah bahwa peta guncangan atau *shakemap* yang dikeluarkan oleh BMKG dalam waktu kurang lebih 10 menit setelah kejadian gempa sangat bermanfaat untuk menjadi acuan bagi pemerintah atau pemangku kepentingan. Pengambilan tindakan cepat dalam penanggulangan bencana mestinya dapat menyelamatkan masyarakat. Gambaran yang terjadi di lapangan: pada saat BMKG mengeluarkan informasi berupa *shakemap* dan menunjukkan kerusakan berat atau sedang, pemerintah dapat segera mengambil tindakan. Misalnya, pemerintah melakukan pengiriman tenaga dan peralatan medis sehingga masyarakat yang mengalami luka berat dapat tertolong. Pengiriman alat berat dalam waktu cepat juga dapat menolong sebagian besar warga yang masih hidup dan berada di bawah runtuhnya bangunan.
16. Berdasarkan hasil pemeriksaan lapangan dan analisis data mikrotremor, dapat disimpulkan bahwa wilayah Pidie Jaya merupakan daerah rawan kejadian gempa merusak. Hal ini karena Pidie Jaya dekat dengan sumber gempa (patahan aktif) dan kondisi tanah yang rentan serta dapat memperkuat efek guncangan gempa. Wilayah yang pernah terlanda kejadian gempa, besar kemungkinan akan terlanda kembali kejadian gempa meskipun waktu dan kekuatannya tidak dapat diramalkan secara akurat. Untuk itu, rehabilitasi dan rekonstruksi permukiman, sarana dan infrastruktur agar dilakukan dengan menerapkan kaidah bangunan tahan gempa sesuai daya dukung dan kondisi tanah di lokasi bencana.
17. Offset koseismik gempa Pidie Jaya 2016 terekam pada data geodetik GPS kontinyu milik BPN di Sigli, Kabupaten Pidie, serta terekam pada data satelit SAR yang tersedia di area Pidie Jaya sebelum dan sesaat sesudah gempa Pidie Jaya. *Timeseries* dari titik PDIE memperlihatkan offset koseismik pada gempa Pidie Jaya, kurang lebih sekitar 8 mm ke arah utara, sekitar 25 mm ke arah barat, dan sekitar 4 mm offset kenaikan permukaan tanah. Sementara itu, offset dari data INSAR pada arah LOS yaitu sekitar 5-20 cm di sekitar Pidie Jaya.
18. Hasil sementara pengamatan data geodetik baik dari data INSAR maupun data GPS serta hasil awal pemodelan deformasi koseismik mengindikasikan kandidat sesar No. 3 (garis merah pada gambar) adalah yang paling memungkinkan sebagai sesar Pidie Jaya. Kandidat sesar No. 3 memiliki kesesuaian dengan data geologi PuSGeN (garis kuning pada gambar) serta data distribusi *aftershock*. Selain itu, sesar kandidat No. 3 terletak di area yang banyak mengalami kerusakan berat. Hal ini menunjukkan pentingnya komplementari data geodetik terutama adanya data GPS yang kontinyu serta data satelit SAR dalam memahami sumber dan mekanisme gempa.



19. Hasil perhitungan dari stress transfer mengindikasikan bahwa gempa Pidie Jaya 2016 dipicu oleh gempa Sumatra Andaman 2004 sebesar 3.2 bar. Segmen Sesar Sumatra di utara perlu mendapat perhatian dan peningkatan kesiapsiagaan, mengingat adanya stress transfer dari gempa Aceh 2004 sebesar 2-4 bar pada segmen Sesar Sumatra di Utara.

PUSGGeN
Pusat Studi Gempa Nasional



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



15. Usulan Tindak Lanjut

1. Wilayah yang pernah terlanda kejadian gempa besar kemungkinan akan terlanda kembali kejadian gempa meskipun waktu dan kekuatannya tidak dapat diramalkan secara akurat. Untuk itu, rehabilitasi dan rekonstruksi permukiman, sarana dan infrastruktur agar dilakukan dengan menerapkan kaidah bangunan tahan gempa serta mempertimbangkan data kondisi tanah di lokasi bencana dan rekomendasi teknis dari Badan Geologi pada laporan singkat sebelumnya.
2. Diperlukan pengamatan kegempaan dan deformasi secara kontinyu untuk memahami potensi dari bencana di masa depan dan untuk memperkuat upaya pengurangan risiko bencana.
3. Bangunan vital, strategis, dan mengundang konsentrasi banyak orang (perkantoran, ruko, pasar, sekolah, dll) harus dibangun kembali dengan mengikuti konstruksi kaidah-kaidah bangunan tahan gempa.
4. Hindari pembangunan pada endapan aluvial dan tanah urug yang tidak memenuhi persyaratan teknis karena rawan terhadap guncangan gempa.
5. Agar dihindari membangun pada bagian bawah, tengah, dan atas lereng terjal yang telah mengalami pelapukan karena akan berpotensi terjadinya gerakan tanah/longsor bila digoncang gempa.
6. Bangunan yang terletak pada zona pergeseran tanah dan retakan tanah dalam dimensi besar dan panjang agar digeser sekitar 20 meter dari retakan utama, seperti Masjid Quba Jami.
7. Bangunan yang terletak pada zona likuifaksi (daerah Ulim, Panteraja, Panteraja Barat, Meunasah Balik, pantai Manohara, dan Sagoe) dapat dibangun kembali dengan menerapkan kaidah bangunan tahan gempa.
8. Data dari Badan Geologi agar dipergunakan pada tahap berikutnya, yaitu rehabilitasi dan rekonstruksi.
9. Di daerah Pidie Jaya belum dilakukan upaya mitigasi gempa terutama yang berkaitan dengan upaya peningkatan kapasitas masyarakat melalui sosialisasi, simulasi, dan pelatihan penanggulangan bencana. Oleh karena itu, Pemerintah Kabupaten Pidie Jaya agar melaksanakan kegiatan tersebut secara reguler.
10. Agar Pemerintah Kabupaten Pidie Jaya segera merevisi RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) berdasarkan peta kawasan rawan bencana geologi yang dikeluarkan oleh Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mencakup bencana gempa, tsunami, dan gerakan tanah.
11. Agar Pemerintah Kabupaten Pidie Jaya memasukkan materi kebencanaan geologi (gempa, tsunami, dan gerakan tanah) ke dalam kurikulum pendidikan sebagai muatan lokal atau sebagai salah satu materi dalam kegiatan ekstrakurikuler. Sebagai upaya peningkatan kapasitas masyarakat dalam mitigasi bencana geologi, agar dilakukan sosialisasi dan wajib latih penyelamatan saat terjadi gempa secara berkala baik di wilayah bencana maupun di wilayah lainnya di Kabupaten Pidie, Pidie Jaya dan Bireun. Selain itu, agar Pemerintah Kabupaten Pidie Jaya memasukkan materi kebencanaan geologi (erupsi gunung api, gempa, tsunami, dan gerakan tanah) ke dalam kurikulum pendidikan sebagai muatan lokal atau sebagai salah satu materi dalam kegiatan ekstra kurikuler.



12. Agar menjadi pelajaran ke depan, terhadap bangunan yang mengalami penambahan jumlah lantai atau fungsi (contohnya dari ruko menjadi tempat sarang burung wallet) harus dilakukan pengawasan oleh pihak yang berwenang karena jumlah lantai bisa sampai 4 atau lebih.
13. Detail penulangan pada sambungan balok kolom dan sambungan kolom dengan *pilecap* di lantai dasar wajib mengikuti sesuai peraturan yang ada.
14. Kubah-kubah masjid diusulkan tidak dari struktur beton yang berat, tetapi diganti menjadi struktur ringan, seperti: struktur baja dan seng zinkalum, GRC dan struktur lainnya yang lebih ringan.
15. Struktur bangunan yang masih berdiri dan atau bangunan yang masih dapat dilakukan perbaikan terutama bangunan-bangunan fasilitas umum dilakukan lagi pemeriksaan yang lebih detail oleh pihak yang berkompeten. Perbaikan harus dilakukan oleh konsultan yang berkompeten; dipastikan keamanannya untuk pemanfaatannya ke depan.
16. Pemerintah daerah lebih menertibkan kembali instansi pemberi izin mendirikan bangunan (IMB) agar seluruh bangunan bertingkat, wajib desainnya diperiksa oleh tim pemeriksa bangunan daerah yang berkompeten.
17. Pemerintah pusat dan daerah melakukan pembinaan terhadap organisasi pemangku kepentingan dalam pembangunan gedung (konsultan dan kontraktor) agar lebih profesional.
18. Sosialisasi dan diseminasi NSPM, dan Juknis-juknis struktur bangunan tahan gempa ke seluruh jenjang tingkatan, mulai dari engineer sampai dengan mandor dan tukang. Balitbang Kementerian PUPR ke depan dapat dilibatkan dalam sosialisasi dan diseminasi NSPM.
19. Diusulkan adanya tim khusus yang independen di bidang struktur bangunan yang dapat berperan dalam pengawasan pembangunan kembali gedung-gedung (rehabilitasi dan rekonstruksi); yang dapat melakukan pengawasan yang cukup ketat pada saat rekonstruksi dan pembangunan kembali terhadap gedung yang rusak, agar tidak terjadi musibah terulang di kemudian hari.



16. Daftar Referensi

- Kennett B.L.N., Engdahl E.R. & Buland R. (1995). Constraints on seismic velocities in the earth from travel times *Geophys. J. Int*, 122, 108-124
- Lahr, J.C., 1999, revised 2012, HYPOELLIPSE: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern: U.S. Geological Survey Open-File Report 99-23, version 1.1, 119 p. and software, available at <https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/>.
- Lomax, A. and A. Michelini (2009), MwPd: A Duration-Amplitude Procedure for Rapid Determination of Earthquake Magnitude and Tsunamigenic Potential from P Waveforms, *Geophys. J. Int.*, 176, 200-214, doi:10.1111/j.1365-246X.2008.03974.x
- Gunawan, E., Sagiya, T., Ito, T., Kimata, F., Tabei, T., Ohta, Y., Meilano, I., Abidin, H.Z., Nurdin, I. and Sugiyanto, D., 2014. A comprehensive model of postseismic deformation of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake deduced from GPS observations in northern Sumatra. *Journal of Asian Earth Sciences*, 88, pp.218-229.
- Ito, T., Gunawan, E., Kimata, F., Tabei, T., Meilano, I., Ohta, Y., Ismail, N., Nurdin, I. and Sugiyanto, D., 2016. Co-seismic offsets due to two earthquakes (M_w 6.1) along the Sumatran fault system derived from GNSS measurements. *Earth, Planets and Space*, 68(1), p.1.
- Cattin, R., Chamot-Rooke, N., Pubellier, M., Rabaut, A., Delescluse, M., Vigny, C., Fleitout, L. and Dubernet, P., 2009. Stress change and effective friction coefficient along the Sumatra-Andaman-Sagaing fault system after the 26 December 2004 (M_w 9.2) and the 28 March 2005 (M_w =8.7) earthquakes. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(3).
- Bennet, J.D., Bridge D.McC., Cameron, N.R., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Jeffery, D.H., Kartawa, W., Keats, W., Rock, N.M.S., Thomson S.J., Whandoyo, R., 1981. *Peta Geologi Lembar Banda Aceh, Sumatra, Skala 1:250.000*. Peta Geologi Bersistem Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Keats, W., Cameron, N.R., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Harahap, H., Kartawa, W., Ngabito, H., Rock, N.M.S., Thomson S.J., Whandoyo, R., 1981. *Peta Geologi Lembar Lhokseumawe, Sumatra, Skala 1:250.000*. Peta Geologi Bersistem Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Priambodo, I.C., Omang, A., Cipta, A., 2014. *Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Provinsi Aceh Darussalam*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Zhao, J.X., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., Somerville, P.G., Asano, A., Saiki, T., Okada, H., Takahashi, T., 2004. *Site Classification for Strong-Motion Stations in Japan Using H/V Response Spectral Ratio*. 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004, Vancouver, B.C., Canada



PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



LAMPIRAN

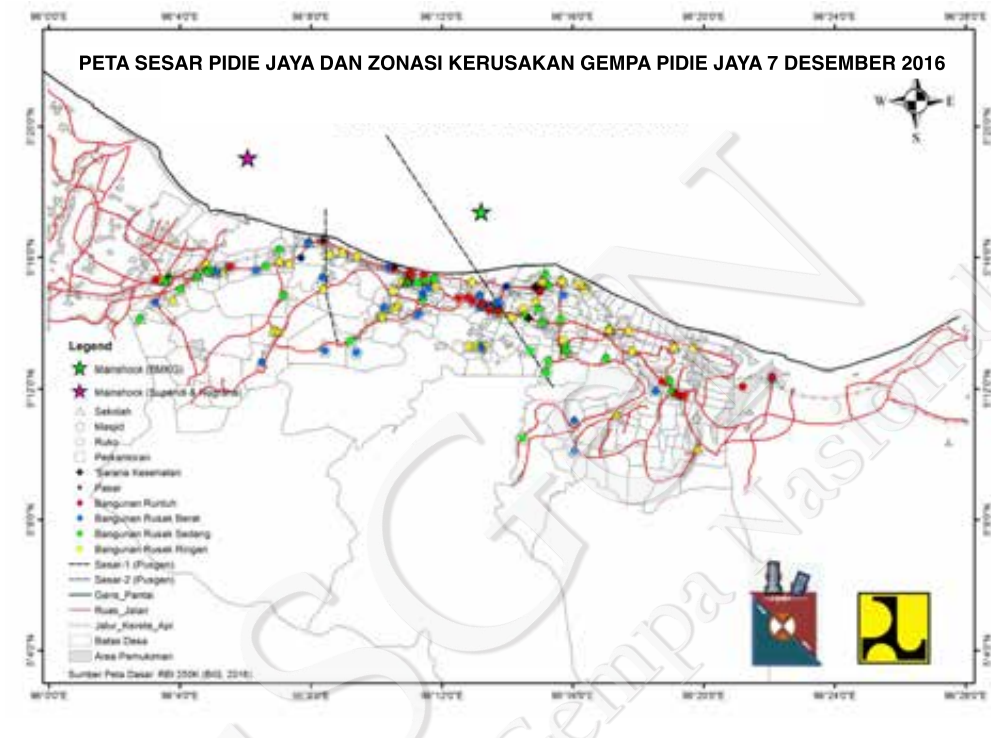


Lampiran I. Skala SIG-BMKG

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN (Not Felt)	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I-II	< 2.9
II	Hijau	DIRASAKAN (Felt)	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar	III-V	2.9-88
III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN (Slight Damage)	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, atap bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89-167
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG (Moderate Damage)	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atap bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII-VIII	168-564
V	Merah	KERUSAKAN BERAT (Heavy Damage)	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX-XII	>564



Lampiran II. Peta Sesar Pidie Jaya dan Zonasi Kerusakan Gempa Pidie Jaya 7 Desember 2016





PUSGEN
Pusat Studi Gempa Nasional



PuSGeN

Pusat Studi Gempa Nasional
National Center for Earthquake Studies

Kesekretariatan :
Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Gedung Griha Wiksa Praniti, Jl. Turangga No. 5-7, Bandung



PUSAT LITBANG PERUMAHAN DAN PERMUKIMAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

Jl. Panyauangan – Cileunyi Wetan – Kabupaten Bandung 40393

Telp: (022) 7798393 (4 lines) - Fax: (022) 7798392,

Email: info@puskim.pu.go.id, Website: <http://puskim.pu.go.id>

ISBN 978-602-5489-00-6



9

786025

489006