



ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG ILMU KEBUMIAN

RISET SESAR AKTIF INDONESIA DAN PERANANNYA DALAM MITIGASI BENCANA GEMPA DAN TSUNAMI



OLEH:
DANNY HILMAN NATAWIDJAJA

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 27 JULI 2021**

RISET SESAR AKTIF INDONESIA DAN PERANANNYA DALAM MITIGASI BENCANA GEMPA DAN TSUNAMI

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG ILMU KEBUMIAN**

**RISET SESAR AKTIF INDONESIA
DAN PERANANNYA DALAM MITIGASI
BENCANA GEMPA DAN TSUNAMI**

OLEH:

DANNY HILMAN NATAWIDJAJA

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 27 JULI 2021**

© 2021 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Geoteknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Riset Sesar Aktif Indonesia dan Peranannya dalam Mitigasi Bencana Gempa dan Tsunami/
Danny Hilman Natawidjaja. Jakarta: LIPI Press, 2021.

xi + 95 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-235-7 (cetak)
978-602-496-236-4 (*e-book*)

1. Sesar Aktif
3. Mitigasi Bencana

2. Gempa

551.22

Copy editor : Sarwendah Puspita Dewi
Proofreader : Risma Wahyu Hartiningsih
Penata Isi : Dhevi.E.I.R. Mahelingga
Desainer Sampul : Meita Safitri

Cetakan : Juli 2021



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp.: (021) 573 3465
e-mail: press@mail.lipi.go.id
website: lipipress.lipi.go.id
 LIPI Press
 @lipi_press
 @lipi.press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Danny Hilman Natawidjaja, lahir di Subang, Jawa Barat, 11 Desember 1961, adalah putra kedua dari tiga bersaudara. Terlahir dari pasangan H. Ahmad Rivai Natawidjaja (alm.) dan Hj. Rd. Suprapti Djajasoebrata (alm). Menikah dengan Fauzana dan dikaruniai tiga anak, yaitu Puti Dania, Sutan Danian, dan Javan Danian.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 1/M/2017 Tanggal 3 Januari 2017, yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai tanggal 1 Desember 2016. Berdasarkan Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia No. 165/A/2021 Tanggal 21 Juni 2021 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri Cidangdeur-Purwadadi, Subang, tahun 1973; Sekolah Menengah Pertama Negeri VII, Bandung, tahun 1976; dan Sekolah Menengah Atas Negeri V, Bandung, tahun 1980. Memperoleh gelar Sarjana Geologi dari Institut Teknologi Bandung tahun 1986, gelar M.Sc. Geology dari University of Auckland, New Zealand tahun 1992; dan gelar Ph.D. Geology dari California Institute of Technology (Caltech), USA tahun 2003.

Menjadi CPNS di Pusat Penelitian Geoteknologi sejak Mei 1987, dan menjadi PNS sejak Juni 1988. Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Asisten Peneliti Madya golongan III/b tahun 1993, Ajun Peneliti Madya golongan III/c tahun 1995, Peneliti Ahli Muda golongan III/d tahun 2005, Peneliti Ahli Madya

golongan IV/c tahun 2014, dan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d tahun 2017. Terakhir diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama golongan IV/e tahun 2019.

Menghasilkan 99 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain, dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Menerbitkan sebanyak 1 buah buku internasional, 1 buah bagian dari buku internasional, 1 buku nasional, 5 buah bagian dari buku nasional, 57 buah makalah di Jurnal Ilmiah Internasional, 4 buah makalah di Jurnal Ilmiah Nasional terakreditasi, 18 buah makalah di Prosiding Konferensi Ilmiah Internasional, dan 12 buah makalah di Prosiding Ilmiah Nasional. Mempunyai Citation index dan h-index 5.879 dan 34 di Google Scholar serta 3.875 dan 29 di SCOPUS.

Menjadi inisiator dan koordinator riset gempa di LIPI sejak tahun 2002. Dengan dana hibah, merintis dan mengembangkan jaringan stasiun kontinu GPS SuGAr sejak tahun 2002 untuk memantau pergerakan tektonik di Sumatra bekerja sama dengan Caltech USA dan Earth Observatory of Singapore. Menjadi ketua tim nasional pembuatan Pedoman Analisis Risiko Bencana Alam (PARBA) yang diselenggarakan oleh UNDP dan BNPB tahun 2008–2009. Menginisiasi dan mengembangkan program Pascasarjana Studi Gempa di ITB yang dikenal sebagai Program Graduate Research in Earthquake and Active Tectonics (GREAT) yang didanai oleh program bilateral Australian-Indonesia Facility for Earthquake Disaster Reduction (AIFDR) tahun 2010–2017. Menginisiasi dan menjadi anggota inti Tim-9 untuk merevisi Peta Nasional *Seismic Hazard* Indonesia yang kemudian dipublikasi oleh Kementerian PUPR tahun 2010 dan dijadikan referensi utama dalam SNI 1726-2012 untuk pelaksanaan kode bangunan tahan gempa. Menjadi Ketua Kelompok Kerja Geologi Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN) sejak tahun 2016 untuk merevisi kembali Peta *Seismic Hazard* Indonesia yang kemudian

dipublikasikan oleh KemenPUPR tahun 2017 dan dirujuk oleh SNI 1726-2019 untuk menggantikan SNI sebelumnya.

Aktif dalam pembimbingan mahasiswa di ITB dan Unpad; termasuk 4 orang lulusan S3 dan 2 orang lulusan S2. Aktif dalam organisasi ilmiah, yaitu anggota Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI), anggota Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Ikatan Ahli Tsunami Indonesia (IATSI), anggota Asian Oceania Geoscience Society (AOGS), dan anggota American Geophysical Union (AGU).

Menerima tanda penghargaan Lulusan Sarjana Terbaik dari Fakultas Teknologi Mineral, ITB (Tahun 1986); *Sarwono Prawirohardjo Award* dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Tahun 2005); *Science Award-Tropi Manusia Bintang* dari Kantor Berita Rakyat Merdeka Online (Tahun 2014); IAGI Award (*for the continuity of developing applied geology*) (Tahun 2015); *Ahmad Bakrie Award for Science* dari Yayasan Ahmad Bakrie (Tahun 2016); dan Satyalancana Karya Satya X Tahun (Tahun 1999), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (Tahun 2008) serta Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (Tahun 2017) dari Presiden RI. Tanggal 1 Desember 2020 diangkat menjadi anggota biasa di Komisi Ilmu Pengetahuan Dasar, Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
DAFTAR ISI	ix
PRAKATA PENGUKUHAN.....	xi
I PENDAHULUAN	1
II MERINTIS DAN MENGEMBANGKAN RISET GEMPA DI INDONESIA	3
2.1 Awal Mula Riset Gempa	3
2.2 Mengembangkan Metode Riset Geologi Gempa	3
2.3 Melahirkan <i>Sumatran GPS Array</i> untuk Mengembangkan Riset Geodesi Gempa di Indonesia	6
2.4 Mengembangkan Riset Seismologi Gempa.....	7
2.5 Merintis Riset Arkeo-Seismik dan Arkeo-Geologi	7
2.6 Prospektif Perkembangan IPTEK Gempa Masa Lalu, Masa Kini dan Masa Depan	9
III HASIL RISET SESAR AKTIF DI INDONESIA	10
3.1 Sesar Aktif - Sumber Gempa di Sumatra	10
3.2 Sesar Aktif - Sumber Gempa di Jawa.....	14
3.3 Sesar Aktif di Wilayah Indonesia Timur.....	16
IV MITIGASI BENCANA GEMPA BERBASIS SAINS	20
4.1 Peranan Riset Sesar Aktif dalam Mitigasi Bencana Gempa dan Pembangunan Infrastruktur.....	20
4.2 Peranan Riset Sesar Aktif dalam Analisis Seismic Hazard dan Peraturan Bangunan Tahan Gempa	21
4.3 Peranan Riset Sesar Aktif dalam Mitigasi Tsunami	23
4.4 <i>Tsunami Early Warning System</i> (Peringatan Dini Tsunami) Berbasis Sains dan Riset.....	24
4.5 Peran Pendidikan Pascasarjana.....	25
4.6 Peran Wadah <i>Center of Excelence</i>	26

Buku ini tidak diperjualbelikan.

V KESIMPULAN	28
VI PENUTUP	30
VII UCAPAN TERIMA KASIH	31
DAFTAR PUSTAKA.....	33
LAMPIRAN.....	42
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	63
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	76

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah Pengukuhan Profesor Riset di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala ke rendahan hati, izinkan saya menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“RISET SESAR AKTIF INDONESIA DAN PERANANNYA DALAM MITIGASI BENCANA GEMPA DAN TSUNAMI”

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai tingkat aktivitas seismik yang sangat tinggi karena terletak di wilayah batas pertemuan empat lempeng utama, yaitu lempeng India-Australia, Eurasia, Pasifik, dan Karolina-Filipina. Akibat pergerakan empat lempeng itu Kepulauan Indonesia terpecah belah menjadi bagian-bagian kecil yang dibatasi oleh banyak jalur sesar aktif. Hal ini menyebabkan hampir semua wilayah Indonesia rawan terhadap bencana gempa (Gambar 1 dan 2). Namun kontras dengan kondisi alam, data sesar aktif dan gempa masih minim diteliti. Pengetahuan gempa umumnya masih belum cukup detail untuk diimplementasikan dalam mitigasi bencana.

Sejak gempa-tsunami Aceh pada 26 Desember 2004, wilayah barat Indonesia seperti tidak henti-hentinya digoncang gempa. Hanya tiga bulan setelah Aceh, pada 28 Maret 2005, gempa *megathrust* (sesar naik di batas lempeng subduksi dangkal) berkekuatan Mw8,7 menghentak wilayah Nias dan Simeuleu. Untung tidak membangkitkan tsunami besar¹, efek goncangan-nya merobohkan banyak bangunan di Nias, khususnya di Gunung Sitoli, dan menimbulkan korban hingga 2.000 jiwa. Pada 2006, gempa *megathrust* muncul di selatan Jawa dengan kekuatan Mw7,7. Tsunaminya menghempas wilayah pantai Pangandaran sampai Cilacap dengan ketinggian gelombang mencapai 10 meter.

Tahun 2007 gempa *megathrust* kembali menghantam Sumatra di wilayah Bengkulu dengan rentetan tiga gempa dalam selang waktu 24 jam bermagnitudo Mw8, Mw7,2, dan Mw 7,0^{2,3}. Berikutnya, tahun 2009, giliran Kota Padang yang luluh lantak dihantam gempa berkekuatan Mw7,8. Tahun 2010, giliran Kepulauan Pagai dilanda tsunami gempa *megathrust*

berkekuatan Mw7,7. Karakternya sama seperti gempa Pangandaran tahun 2006. Walaupun goncangannya kecil, tsunaminya sangat besar dengan tinggi gelombang mencapai 14 meter. Jadi, gempa ini sama seperti gempa Pangandaran yang termasuk tipe *slow earthquake*⁴. Pada tahun 2012 terjadi lagi rentetan dua gempa besar di barat Sumatra di tengah Lautan Hindia dengan kekuatan Mw8,6 dan Mw8,2 yang berasal dari reaktivasi sesar geser tua, ~400 km dari Pantai Padang⁵. Di wilayah timur, pada tahun 2018 terjadi gempa besar di utara Lombok dan di Kota Palu, Sulawesi. Pada tahun 2020 terjadi gempa besar di wilayah Ambon, Maluku. Terakhir, bulan Januari 2021, terjadi gempa besar di wilayah Majene, Sulawesi.

Rangkaian gempa besar yang terjadi di Indonesia sejak tahun 2000 adalah bukti nyata bahwa Indonesia adalah wilayah dengan potensi bencana gempa yang sangat tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan pengetahuan yang cukup tentang sesar aktif dan potensi gempa di seluruh wilayah Indonesia.

Dalam naskah ini diuraikan tentang perjalanan memulai dan mengembangkan riset sesar aktif di Indonesia. Kemudian dipaparkan uraian singkat dari hasil riset sesar aktif di wilayah Indonesia. Selanjutnya, pembahasan tentang peranan (hasil) riset sesar aktif untuk mitigasi dan pembangunan, yang aman dan tangguh bencana. Terakhir disampaikan kesimpulan dan penutup.

II. MERINTIS DAN MENGEMBANGKAN RISET GEMPA DI INDONESIA

Dalam bab ini akan diuraikan secara singkat perjalanan merintis penelitian gempa di Indonesia dan usaha untuk mengembangkan berbagai metode riset secara terpadu.

2.1 Awal Mula Riset Gempa

Penelitian sesar aktif dimulai pada tahun 1993, yaitu pada Sesar Sumatra di wilayah Kota Liwa^{6,7} yang kebetulan dilakukan setahun sebelum terjadi Gempa Liwa tahun 1994 (M6,9). Pada saat itu riset sesar aktif nyaris belum dikenal di Indonesia. Penelitian dilakukan secara autodidak, sampai akhirnya bertemu dengan Professor Kerry Sieh tahun 1994 dan berlanjut dengan mengambil program Ph.D. di Caltech USA dari tahun 1997 sampai akhir tahun 2003, dan pulang ke Indonesia pada bulan Juni tahun 2004. Hanya 6 bulan sebelum terjadi gempa-tsunami di Aceh pada 27 Desember 2004. Kebetulan disertasi penulis adalah tentang gempa *megathrust* di Sumatra maka sejak pulang ke Indonesia, penulis giat mempropagandakan ancaman bahanaya gempa dan tsunami di wilayah Sumatra beberapa bulan sebelum tsunami Aceh terjadi.

2.2 Mengembangkan Metode Riset Geologi Gempa

Wilayah Indonesia terdiri dari banyak pulau dan lautan. Metode riset gempa di daratan dan lautan mempunyai perbedaan menyangkut data dasar serta metode pengambilan data.

2.2.1 Metode Riset Gempa *Megathrust* di Laut

Sumber gempa utama di lepas pantai adalah *megathrust*, yaitu sesar naik pada batas lempeng zona subduksi yang berada jauh di bawah dasar laut. Karena sesarnya tidak terlihat maka perlu

metode untuk mengukur pergerakannya di permukaan. Busur barat Sumatra sangat ideal untuk penelitian *megathrust* karena di atasnya terdapat gugusan pulau-pulau yang banyak ditumbuhi koral di sepanjang pantainya.

Satu jenis koral masif yang tumbuh di zona pasang surut sangat akurat dalam merekam perubahan muka air laut yang di wilayah ini berkaitan dengan siklus gempa⁸ (Gambar 3). Oleh karena itu, koral masif yang disebut juga mikroatol ini dapat digunakan sebagai alat ‘paleogeodesi’ dan ‘paleoseismometer’ yang akurat. Teristimewa, koral masif ini mempunyai rentang waktu perekaman data yang sangat panjang sampai ratusan bahkan ribuan tahun⁹ (Gambar 4 & Gambar 5). Studi ini menjadi objek utama disertasi saya. Metode ‘koral-paleogeodesi’ di Sumatra adalah yang pertama kali dilakukan di seluruh dunia. Penelitian yang dilakukan dari tahun 1997 sampai dengan 2012 berhasil mengukur siklus dan peristiwa gempa-gempa besar di *megathrust*, baik yang terjadi pada masa sejarah^{9,10,11,12} ataupun pada masa pra-sejarah^{3,13}.

2.2.2 Metode Riset Gempa di Daratan

Bagian lain dari riset Ph.D. adalah memetakan jalur sesar aktif di daratan Pulau Sumatra, disebut sebagai Sesar Sumatra¹⁴. Ini adalah pemetaan sesar aktif yang pertama di Indonesia dengan memakai metode berstandar internasional serta memenuhi syarat untuk dipakai dalam mitigasi bahaya gempa.

Kami melakukan pemetaan rekahan sesar setelah terjadi gempa, dikenal sebagai *post-earthquake fault rupture studies*. Kegiatan pertama dilakukan setelah terjadi gempa pada tahun 2007 di wilayah Sumatra Barat dan sudah dipublikasikan¹⁵. Studi ini adalah studi yang pertama kali dilakukan di Indonesia. Pemetaan rekahan sesar gempa (*fault surface ruptures*) juga dilakukan setelah terjadi gempa di Palu tahun 2018 (M7,5).

Studi ini menjadi salah satu contoh studi sesar aktif pascagempa yang sangat rinci dan lengkap¹⁶.

2.2.3 Mengembangkan Metode dan Teknologi untuk Studi Sesar Aktif di Indonesia

Pemetaan sesar aktif di darat tidak cukup hanya dengan metode konvensional yang mengandalkan analisis lanskap tektonik aktif dari bentang alam karena untuk wilayah tropis Indonesia jejak sesarnya banyak yang hilang akibat erosi atau tertimbun oleh proses sedimentasi. Oleh karena itu, perlu dibantu oleh metode dan teknologi pemindaian bawah permukaan.

Kami sudah mengembangkan teknik pemetaan sesar aktif dengan bantuan: 1. Foto udara *drone* (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) ringan yang hasilnya diolah oleh piranti lunak untuk mengubah rangkaian foto menjadi visualisasi digital 3D rupa bumi detail berupa mosaik-orthofoto dan *Digital Elevation Modul* (DEM), 2. Pemindaian geofisika dangkal bawah permukaan dengan teknologi georadar atau *Ground Penetration Radar* (GPR) dan geolistrik atau *Earth Resistivity Tomography* (ERT) yang relatif mudah pelaksanaannya di lapangan, dan 3. Uji paritan paleoseismologi disertai uji *radiometric dating*. Uji paritan diperlukan untuk membuktikan indikasi jalur sesar dari pemetaan lanskap dan pemindaian geofisika. Selain itu, catatan sejarah gempa (di Indonesia) umumnya sangat terbatas dan tidak komplet sehingga perlu paleoseismologi untuk mengungkap kejadian gempa di masa lalu^{17,18}.

Parameter yang sangat penting dari sesar aktif adalah *slip rate* atau laju gerak sesar. Laju gerak diukur dengan metode geologi atau geodesi. Metode geologi mengukur *offset* (besar pergeseran) dan membaginya dengan umur dari unsur yang

tergeserkan, dan yang paling sering digunakan adalah pergeseran lembah sungai^{19,20}.

2.3 Melahirkan *Sumatran GPS Array* untuk Mengembangkan Riset Geodesi Gempa di Indonesia

Pergerakan sesar aktif dapat dimonitor dan diukur secara kontinu oleh jaringan GPS kontinu. Walaupun bukan spesialis dalam bidang geodesi gempa, tetapi karena metode ini belum begitu dikenal di Indonesia waktu itu maka perlu merintis pemasangan jaringan stasiun GPS kontinu sejak tahun 2002 di Sumatra, berkaitan dengan studi *megathrust*. Jaringan GPS ini kemudian dinamakan *Sumatran GPS Array* (SuGAr). Proyek SuGAr dimulai dengan pemasangan empat stasiun GPS kontinu pada tahun 2002 ketika masih dalam program Ph.D. di Caltech. Sekarang SuGAr sudah memiliki lebih dari 60 stasiun GPS kontinu yang sudah dilengkapi dengan sistem telemetri data (Gambar 6) yang artinya siap digunakan/dikembangkan untuk *Tsunami Early warning System* (TEWS), tetapi hal ini belum dilakukan. Pembelian peralatan dan pemeliharaan berasal dari dana hibah kerja sama riset; dari tahun 2002–2008 dengan Tectonic Observatory Caltech (California Institute of Technology); dari tahun 2008 sampai sekarang dengan Earth Observatory of Singapore (EOS) NTU. Manajemen pusat data SuGAr ada di Puslit Geoteknologi LIPI dengan memanfaatkan jaringan komputer BIG LIPI. SuGAr adalah jaringan GPS kontinu pertama di Indonesia yang khusus didesain untuk studi gempa. Sampai tahun 2007 stasiun GPS kontinu SuGAr masih lebih banyak dibanding dengan yang dikelola oleh Bakosurtanal (sekarang menjadi Badan Informasi Geospasial). SuGAr sangat dikenal di dunia karena

sudah menghasilkan publikasi puluhan artikel di jurnal-jurnal ilmiah internasional papan atas.

2.4 Mengembangkan Riset Seismologi Gempa

Walaupun bukan spesialis di bidang seismologi-geofisika, namun karena studi seismologi gempa juga belum banyak dilakukan di Indonesia pada waktu itu maka saya bekerja sama dengan para ahli seismologi dari luar. Studi ini meliputi pemasangan jaringan seismometer selama dua tahun, dari 2008 sampai 2009 yang ditujukan untuk meneliti aspek seismisitas dari zona subduksi dan Sesar Sumatra (Gambar 7). Jaringan seismometer (sementara) yang cukup rapat berhasil merekam aktivitas gempa di Sumatra dengan rinci dan akurat, termasuk gempa-gempa mikro bermagnitudo di bawah 4 (M4). Hasilnya dapat memindai geometri dan aktivitas struktur Sesar Sumatra dan zona subduksi atau *megathrust*^{21,22}(Gambar 8). Hasil perekaman menunjukkan adanya kenaikan aktivitas gempa di Sesar Sumatra, di bagian utara dari khatulistiwa²³, kemungkinan berkaitan dengan efek pemicuan gempa *megathrust* Aceh dan Nias pada tahun 2004 dan 2005.

2.5 Merintis Riset Arkeo-Seismik dan Arkeo-Geologi

Ide awal dikembangkan dari keterkaitan antara bencana alam dan perkembangan sejarah manusia. Contohnya adalah antara siklus gempa-tsunami di wilayah Aceh dan sejarah Aceh. Tsunami besar pernah terjadi sekitar tahun 1450-an Masehi yang diduga sama besar bahkan mungkin gelombangnya lebih tinggi dari tsunami tahun 2004, paling tidak untuk wilayah Pulau Simeuleu²⁴. Bencana tsunami purba ini diduga menjadi penyebab Kerajaan Islam Samudra Pasai menghilang perlahan secara

misterius dalam sejarah. Dalam beberapa tahun terakhir, riset arkeo-seismik mulai berkembang di dunia.

Ide ini dikembangkan lebih luas untuk riset arkeo-geologi atau geo-arkeologi, yaitu aplikasi konsep, pengetahuan, dan metode eksplorasi geologi-geofisika untuk meneliti jejak peninggalan sejarah/prasejarah manusia, termasuk yang terkait dengan kejadian bencana alam besar. Keahlian geologi gempa dan bidang arkeo-geologi sangat dekat karena fokus periode waktu (yaitu Zaman Kuarter) dan metode survei yang dipakai sama, termasuk teknik pemetaan, ekskavasi/*trenching*, eksplorasi geofisika dangkal, dan teknik *radiometric dating*.

Kegiatan riset dilakukan dengan melakukan survei di beberapa situs kawasan megalitik di berbagai tempat di Indonesia. Fokus riset dari tahun 2011 sampai 2014 adalah eksplorasi geologi-geofisika-arkeologi di Gunung Padang yang difasilitasi oleh Kantor Staf Khusus Presiden Bidang Kebencanaan pada waktu itu (Gambar 10). Riset Gunung Padang berhasil menguak keberadaan struktur bangunan dan ruang-ruang di bawah tanah, juga umur dari lapisan-lapisan artifisialnya dengan analisis *carbon dating*^{25,26}.

Capaian dari Riset Gunung Padang adalah sebagai berikut. 1. Membuat Situs Gunung Padang menjadi terkenal ke seluruh dunia. Pengunjung dari puluhan menjadi ribuan orang; 2. Menghasilkan banyak kebijakan pemerintah, termasuk menjadikan peringkat Situs Gunung Padang naik dari tingkat provinsi menjadi Situs Cagar Budaya Tingkat Nasional; Perpres, Kepmendikbud, dan KepGub tentang penelitian, pengelolaan, dan pengembangan Situs Gunung Padang; 3. Memberi warna dan harapan baru untuk riset arkeologi Indonesia; 4. Menambah semangat nasionalisme karena kebanggaan atas peradaban leluhur Nusantara. Hasil riset Gunung Padang terakhir dipresentasikan di American Geophysical Union Fall Meeting pada bulan De-

seember 2018 di Washington DC. Materi presentasinya dapat dilihat melalui tautan <http://doi.org/10.1002/essoar.10500119.1> (Gambar 11).

2.6 Prospektif Perkembangan Iptek Gempa Masa Lalu, Masa Kini, dan Masa Depan

Sebelum dilakukan riset sesar aktif, penelitian gempa nyaris belum dikenal di Indonesia. Bencana gempa umumnya dianggap sebagai takdir Tuhan yang tidak bisa dihindari selain dengan berdoa dan berserah diri. Mitigasi bencana alam juga belum dilaksanakan karena UU yang mewajibkan mitigasi bencana baru keluar pada tahun 2007. Setelah penelitian sesar aktif dilakukan, masyarakat mulai paham betapa pentingnya pengetahuan gempa serta peranannya untuk mitigasi dan pembangunan. Namun perlu proses yang cukup panjang sampai akhirnya riset dan pengetahuan sesar aktif ini diperhitungkan dalam mitigasi bencana dan perencanaan konstruksi di bidang sipil.

Dalam Publikasi Peta Sumber dan Bahaya Gempa tahun 2017, dikatakan secara jelas bahwa terjadi penambahan data segmen sesar aktif dari sekitar 57 buah dalam Peta Gempa tahun 2010 menjadi 269 sesar aktif. Jadi, ada lonjakan data sesar aktif yang sangat mencolok. Ini mengindikasikan kontribusi besar penelitian sesar aktif dari periode 2010 sampai 2017. Dikatakan juga bahwa sampai saat ini masih banyak jalur sesar aktif yang belum teridentifikasi, sedangkan yang sudah teridentifikasi pun masih kurang informasinya. Dengan demikian, perkembangan penelitian sesar aktif cukup pesat sejak tahun 2004 sampai sekarang. Namun ke depan, kita masih ditantang untuk melakukan penelitian yang lebih intensif untuk mengisi kekurangan data sesar aktif di berbagai wilayah Indonesia.

III. HASIL RISET SESAR AKTIF DI INDONESIA

Indonesia dapat dibagi menjadi dua wilayah tektonik dengan karakter berbeda, yakni wilayah barat dan timur. Wilayah barat, termasuk Sumatra, Jawa, dan Kalimantan, tektoniknya relatif sederhana, didominasi oleh zona subduksi lempeng. Wilayah timur termasuk Sulawesi, Maluku, Papua, dan Nusa Tenggara merupakan wilayah pertemuan tiga lempeng besar sehingga konfigurasi tektoniknya jauh lebih kompleks. Kecepatan pergerakan lempeng di timur juga relatif dua kali lebih besar dari wilayah barat sehingga kejadian gempanya dua kali lipat lebih banyak dari wilayah barat. Riset gempa dan sesar aktif di Pulau Jawa dan wilayah timur masih belum se-intensif di Sumatra sehingga datanya lebih sedikit. Sejak tahun 2010, pemetaan sesar aktif di Pulau Jawa dan Indonesia timur mulai dilakukan.

3.1 Sesar Aktif-Sumber Gempa di Sumatra

Sepanjang Palung Sumatra Lempeng India-Australia menunjam ke arah timur laut. Konvergensi penunjaman lempeng miring terhadap jalur subduksi sehingga vektornya berpartisi menjadi dua bagian, yaitu vektor yang tegak lurus dan vektor yang sejajar arah jalur subduksi. Vektor yang tegak lurus jalur diserap oleh zona subduksi dan juga sesar naik Mentawai. Vektor yang sejajar palung Sumatra diserap oleh sesar geser Sumatra¹⁴ (Gambar 12).

3.1.1 Zona Sesar Sumatra di Bukit barisan

Zona Sesar Sumatra membelah pegunungan Bukit Barisan sepanjang 1.900 km, mulai dari Selat Sunda sampai ke wilayah Aceh dan Laut Andaman^{14,27}. Jalur Sesar Sumatra melewati wilayah padat penduduk, termasuk Kota Agung, Liwa, Kepahiang, Padang Panjang dan Bukittinggi, Padang Sidempuan, Sipirok,

Tarutung-Sarula, Takengon, Banda Aceh, dan Sabang-P. Weh. Peta detail Sesar Sumatra pertama kali dibuat oleh Sieh dan Natawidjaja¹⁴ dengan memakai peta topografi 1:50.000 versi cetak. Peta sesar ini sekarang sudah dikembangkan lebih rinci^{20,28,29,30}(Gambar 13).

Sejalan dengan kenaikan kecepatan konvergensi lempeng dari selatan ke utara, laju gerak Sesar Sumatra dahulu dipostulasikan juga ikut naik^{14,31,32,33}. Namun, hasil riset terkini menunjukkan bahwa kecepatan laju gerak Sesar Sumatra tidak mengalami kenaikan signifikan dari selatan ke utara, tetapi hampir konstan sekitar 15 mm/tahun^{19,20,30}(Gambar 14).

3.1.2 Zona Subduksi Sumatra: *Megathrust*

Gempa *megathrust* Sumatra sudah diteliti sejak tahun 1997 dengan berbagai metode survei, termasuk metode geodesi dan seismologi, tetapi fokusnya di studi koral paleogeodesi^{1,2,4,8,34-43}. Sebelum terjadi gempa-tsunami Aceh 2004 sudah dilakukan pemodelan yang menunjukkan bahwa segmen *megathrust* Mentawai dan Nias-Simeuleu mempunyai *coupling* mendekati 100%⁴³. Artinya, hal itu dapat mengubah energi kinetik dari gerakan relatif lempeng seluruhnya menjadi akumulasi energi re-gangan gempa. Data pergerakan sesar gempa Nias bulan Maret 2005 (Mw8,5) ternyata sangat sesuai dengan hasil pemodelan *coupling* tersebut¹. Oleh sebab itu, metode ini terbukti berguna untuk memperkirakan potensi gempa *megathrust*. SuGAr dan jaringan seismometer juga berhasil merekam pergerakan *after-slip* dan *aftershocks* (gempa susulan) setelah gempa Nias tahun 2005⁴¹.

Gempa *megathrust* Mw9,15 pada tahun 2004 di wilayah Aceh^{40,44} diikuti oleh gempa susulan yang banyak sekali⁴⁵. Dua di antaranya bermagnitudo lebih dari 8, yaitu gempa Nias tahun 2005 (Mw8,7)¹ dan gempa Bengkulu tahun 2007 (Mw8,4)^{2,3}.

Rentetan gempa *megathrust* juga memicu dua gempa tsunami atau *silent/slow earthquakes* tahun 2006 di wilayah Pangandaran di selatan Jawa dan tahun 2010 di wilayah Pagai Selatan, Mentawai⁴.

Riset koral paleogeodesi berhasil menguak gempa-gempa besar yang terjadi di masa lalu. Gempa-tsunami besar bermagnitudo $M \geq 9$ di wilayah Aceh pernah terjadi pada tahun 900-an Masehi dan sekitar tahun 1450 Masehi^{24,37}. Satu hal menarik, gempa-tsunami 1450 Masehi ini bertepatan dengan menghilangnya Kerajaan Samudra Pasai yang kemudian berganti dengan Kesultanan Aceh Darusalam yang merupakan dinasti kerajaan baru, bukan penerusan dari Samudra Pasai²⁴ (Gambar 9).

Di wilayah Nias-Simeuleu juga pernah terjadi gempa *megathrust* pada tahun 1861 dengan magnitudo kira-kira sebesar gempa tahun 2005, $Mw 8,7^{46}$. Selain gempa 1861 riset paleogeodesi berhasil menguak data pengangkatan pulau yang berkaitan dengan gempa-gempa besar pada masa yang lebih tua lagi. Dari analisis semua data dapat disimpulkan bahwa pemisahan segmen *megathrust* Nias-Simeuleu dan segmen Aceh-Andaman bersifat permanen^{38,39}.

Di wilayah Mentawai-Bengkulu, gempa besar terjadi pada tahun 1797 dan 1833 dengan magnitudo sekitar $Mw 8,7-8,9^{12}$. Pada waktu itu tidak banyak korban di Kota Padang karena populasi penduduknya tahun 1797 hanya 7.000 jiwa dan pada tahun 1833 naik menjadi 14.000 jiwa. Namun, tercatat bahwa tsunami tahun 1833 menyeret kapal besi seberat satu ton dari pelabuhan sampai 2 km ke daratan, diperkirakan *flow depth* tsunami lebih dari 5 meter. Studi koral paleogeodesi juga menunjukkan terjadi pengangkatan Kep. Mentawai (dan dasar laut di sekitarnya) setinggi 2–3 meter ketika gempa tahun 1797 dan 1833. Ban-

dingkan dengan gempa *megathrust* tahun 2007 (Mw8,4) yang mengangkat pantai barat Pulau Pagai Selatan setinggi 1 meter³.

Setelah kejadian gempa 1797 dan 1833 Kep. Mentawai kembali masuk ke periode interseismik (antargempa) di mana terjadi penurunan sampai 10–15 mm/tahun, seperti terekam oleh data kenaikan muka air laut dari analisis morfologi koral mikroatol³⁴. Selain dari koral, gerakan *megathrust* dalam masa interseismik juga dapat terlihat dari pemodelan data kontinu GPS SuGAr⁴².

Penelitian yang sangat intensif dan komprehensif selama lebih dari 10 tahun menghasilkan data siklus gempa *megathrust* yang paling lengkap di dunia karena tidak hanya berisi data pergerakan tiba-tiba dari *coseismic* gempa, tetapi juga termasuk data pergerakan perlahan selama masa interseismik. Inilah keistimewaan metode koral paleogeodesi. Dari data ini dibuat rekonstruksi siklus gempa *megathrust* yang cukup lengkap untuk 700–1.000 tahun ke belakang yang memperlihatkan lebih dari tiga kali siklus gempa besar^{3,47}.

Kombinasi metode paleogeodesi-mikroatol dan studi GPS serta seismologi menghasilkan data gempa *megathrust* Sumatra yang sangat komprehensif dan saling melengkapi. Rentetan gempa *megathrust* yang dimulai sejak gempa-tsunami Aceh tahun 2004 sampai gempa-tsunami Mentawai tahun 2010 sudah didokumentasikan dengan baik. Kesimpulan yang penting untuk mitigasi bahwa sampai sekarang segmen *megathrust* Mentawai masih menyimpan energi gempa sampai Mw8,8. Segmen Mentawai ini disebut sebagai *seismic gap*.

3.1.3 Mentawai Backthrust

Di antara zona *megathrust* dan jalur Sesar Sumatra ada sumber gempa lain, yaitu Sesar Mentawai yang terletak di sisi timur Kep. Mentawai. Studi kami memperlihatkan bahwa Sesar Mentawai masih aktif, tetapi bukan sesar geser, seperti yang diduga sebe-

lumnya⁴⁸, melainkan sesar naik *backthrust* yang bidangnya miring ke arah barat, berlawanan arah dengan *megathrust*⁴⁹.

Bukti aktivitas Sesar Mentawai adalah gempa tahun 2005 (Mw6,7) dan tahun 2009 (Mw6,9)⁴⁹ (Gambar 15). Bukti lainnya adalah data pengangkatan tektonik pada tahun 1685 dan sekitar 6600 tahun SM yang terekam pada koral mikroatol⁴⁹. Pemodelan dari data ini mengindikasikan kemungkinan gempa dengan kekuatan hingga Mw8,4. Hal ini sesuai dengan panjang segmen Sesar Mentawai yang mencapai 500 km-an.

3.1.4 Gempa *Intra-subducted Slab*

Selain tiga sistem sesar besar tersebut, masih ada sesar lain yang lebih sulit untuk dipetakan dan diteliti, yaitu sesar-sesar geser pada lempeng lautan yang menunjam di bawah Sumatra. Contoh gempa besar yang terjadi pada jenis sesar ini adalah gempa Bengkulu tahun 2000 dengan magnitudo Mw7,9 dan gempa Padang tahun 2009 yang meluluhlantakkan banyak bangunan dan menimbulkan korban jiwa lebih dari 200 orang, termasuk satu kampung di Pariaman yang tertimbun tanah longsor karena pemicuan getaran gempa⁵⁰.

3.2 Sesar Aktif-Sumber Gempa di Jawa

Berbeda dengan di Sumatra, lempeng lautan Australia yang bergerak dengan kecepatan ~70 mm/tahun menabrak selatan Jawa (hampir) tegak lurus batas lempeng. Oleh karena itu, di Jawa tidak ada sistem sesar geser besar, seperti Sesar Sumatra. Namun, itu tidak sepenuhnya tegak lurus, tetapi sedikit miring ke arah timur sehingga masih mempunyai komponen pergerakan geser-mengiri (*left-lateral*)⁵¹ yang salah satunya diakomodasi oleh Sesar Lembang⁵² (Gambar 16). Jalur sesar-sesar aktif di

Jawa belum banyak diteliti⁵³, tetapi beberapa di antaranya sudah lama dikenal termasuk Sesar Cimandiri dan Sesar Baribis.

Frekuensi kejadian gempa di Jawa lebih jarang dibandingkan di Sumatra. Walaupun demikian, sebenarnya cukup banyak gempa merusak yang terjadi di masa lalu, tetapi kurang tersiaran ke publik. Misalnya, gempa di Yogyakarta tahun 2006 yang mengejutkan banyak orang padahal dulu tanggal 10 Juni tahun 1867 pernah terjadi gempa serupa bahkan diduga lebih besar magnitudonya⁵⁴. Gempa Yogyakarta tahun 2006 yang berkekuatan Mw6,4 dengan episenter di wilayah Bantul berkaitan dengan pergerakan Sesar Opak. Walaupun gempanya tidak terlalu besar, karena kualitas bangunan buruk, gempa ini menewaskan 6.000 orang, dan sekitar 1 juta orang kehilangan tempat tinggalnya serta menelan kerugian sebesar 29,1 triliun rupiah atau kira-kira 3,1 miliar US dolar⁵⁵.

Sesar Lembang sebelumnya tidak ada yang meneliti dengan intensif sehingga keaktifan dan juga mekanisme sesar sering menjadi perdebatan. Kami bekerja sama dengan Jepang via program JICA “Project Multi Hazard Research Indonesia-Japan”, dan kemudian dilanjutkan dengan kerja sama dengan Australia via Program Australian-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR)-BNPB. Dari penelitian ini, kami berhasil memetakan sesar dengan sangat rinci berdasarkan data geologi lapangan, survei geofisika bawah permukaan, dan data LIDAR (Gambar 17 dan Gambar 18). Penelitian ini dilanjutkan menjadi tesis S3 staf peneliti LIPI, Mudrik R. Daryono⁵⁶.

Sesar Lembang mempunyai pergerakan dominan geser mengiri (*left-lateral*) dengan komponen minor sesar naik (blok selatan naik)^{52,56-60}. Panjang total sesar Lembang mencapai 29,5 km. Artinya, terdapat potensi gempa hingga Mw6,8. Studi gempa-gempa mikro juga mengonfirmasi bahwa pergerakan Sesar Lembang ini adalah sesar geser mengiri⁵⁸. Hasil pengukuran laju

gerak sesar yang didapat dari data *offset* lembah sungai adalah sebesar 1,95 sampai 3,45 mm/tahun⁵².

Di utara Jawa ada jalur Sesar Baribis-Kendeng yang sudah cukup lama dikenal di kalangan ahli geologi di Indonesia, namun dahulu dianggap sebagai sesar geser berarah Sumatra yang membentang dari wilayah Cilacap, memotong Jawa ke arah Cirebon, dan mungkin terus ke utara. Akan tetapi, belum ada publikasi dan peta yang rinci, serta tidak ada yang membahas tentang keaktifannya. Dari riset yang kami lakukan, ternyata Sesar Baribis yang aktif berarah barat timur, dari Jawa Barat menerus ke Jawa Timur terhubung dengan zona lipatan-Sesar Kendeng^{61,62}. Jalur sesar naik ini saya namakan sebagai Zona Baribis-Kendeng yang merupakan *back-arc fold-thrust*⁵³.

Sesar Baribis sudah dimasukkan dalam Peta Zonasi Gempa Indonesia Tahun 2017^{63,64}, namun waktu itu belum dipetakan sampai wilayah DKI Jakarta karena dianggap masih perlu penelitian lanjutan. Sekarang hal ini menjadi isu nasional karena apabila terjadi gempa besar di sesar ini, apalagi di wilayah DKI Jakarta maka dampaknya bisa katastrofik. Dalam kaitan dengan urgensi ini, seorang staf peneliti Geoteknologi LIPI, Sony Ari-bowo, dengan saya sebagai salah satu pembimbingnya, sudah memulai program Ph.D. di Grenoble University, France sejak awal tahun 2019 untuk melakukan studi Sesar Baribis-Kendeng dengan lebih intensif.

3.3 Sesar Aktif di Wilayah Indonesia Timur

Indonesia timur memiliki tiga wilayah sesar aktif, yaitu sesar aktif di Sulawesi, di Papua, dan di Busur Banda-Maluku.

3.3.1 Sesar Aktif di Sulawesi

Dibanding dengan Sumatra, penelitian sesar aktif dan potensi kegempaan di Sulawesi masih sedikit. Dari sekian banyak sesar aktif hanya Sesar Matano-Palukoro saja yang cukup dike-

nal (Gambar 19). Sesar Matano-Palukoro sangat penting karena selain tingkat keaktifannya sangat tinggi (laju gerak ~40 mm/tahun) (Gambar 20), sesar ini juga melewati banyak wilayah berpopulasi tinggi, khususnya Kota Palu (~340 ribu penduduk). Sesar ini sudah dipetakan dengan cukup rinci yang kemudian dijadikan sebagai bagian disertasi S3 Dr. Mudrik R. Daryono⁵⁶.

Gempa 28 September 2018 di Palu dengan kekuatan Mw7,4–7,5 sekaligus menggerakkan dua segmen utama Sesar Palukoro, yaitu segmen Palu dan Saluki (Gambar 21). Saya dan Tim Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN) melakukan survei lapangan cepat dari 9 sampai 16 Oktober 2018, khususnya memetakan garis sesar gempa atau *fault surface ruptures*. Jalur sesar membelah Kota Palu ke arah selatan sepanjang ~70 km melewati zona perpindahan dua segmen sesar berupa zona *graben*^{16,65}(Gambar 21). Di sepanjang rekahan gempa atau *fault ruptures* terlihat bangunan, jalan, pagar, sawah dan lain-lain tergeser mengiri sebesar 3 sampai 6 meter (Gambar 22). Semua bangunan yang berada di jalur sesar robuh atau rusak parah.

Salah satu novelti dari hasil studi sesar gempa Palu 2018¹⁶ adalah temuan bahwa *rupture* gempa ternyata dapat meloncati *fault step-over* sesar selebar 7 km, padahal menurut data dunia *rupture* gempa tidak pernah bisa melompat dari satu segmen ke segmen lain yang dipisahkan oleh *step over* dengan lebar lebih dari 4 km^{66,67}. Jadi, hasil studi gempa Palu 2018 mengubah paradigma ini dan akan merevisi Peta Bahaya Gempa Indonesia, khususnya untuk wilayah Sesar Matano-Palukoro.

3.3.2 Sesar Aktif di Papua

Tektonik Papua didominasi oleh proses konvergensi miring dengan sudut ~60° dari Lempeng Pasifik terhadap Pulau Papua sehingga ada partisi vektor tektonik, yaitu menjadi pemendekan (*shortening*) dan pergerakan lateral mengiri. Pemendekan tek-

tonik diakomodasi oleh zona sesar anjak di Palung New Guinea dan Manokwari, zona sesar anjak-lipatan Mamberamo, dan zona sesar anjak-lipatan Papua (Gambar 22). Deformasi gaya lateral diakomodasi Sesar Yapen-Sorong dan Sesar Tarerua Aiduna.

Sama seperti Sulawesi, penelitian dan data sesar aktif serta kegempaan di Papua sangat sedikit, padahal potensi bahaya gempanya dua kali lebih tinggi dibandingkan sesar aktif di Sumatra. Saya memetakan sesar aktifnya sejak tahun 2009, dimulai dengan DEM-SRTM 30. Dari tahun 2013 sampai 2017 penelitian ini dilanjutkan dalam bentuk disertasi S3 Astyka Pamumpuni di Geologi ITB dengan saya sebagai salah satu pembimbingnya⁶⁸. Hasil studi S3 ini sudah diadopsi oleh Peta Zonasi Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.

3.3.3 Sesar Aktif di Busur Banda-Maluku

Bagian selatan dan timur Maluku didominasi oleh batas konvergensi Lempeng Australia dan busur kepulauan dari Kep. Nusa Tenggara ke timur yang melengkung-berputar sebesar 180° berlawanan arah jarum jam sebagai hasil interaksi konvergenSI Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik yang menabrak sisi utara Papua (Gambar 23). Hal ini menyebabkan arsitektur tектonik Laut Banda-Maluku menjadi sangat kompleks.

Wilayah ini mempunyai tingkat seismisitas yang sangat tinggi (Gambar 24). Akan tetapi, seperti halnya Papua dan Sulawesi, data penelitian sesar aktifnya sangat sedikit. Oleh karena itu, saya berinisiatif melakukan kerja sama riset dengan pihak luar. Pada awal tahun 2019, saya berhasil menjalin kerja sama dengan Brunel University, UK dan mendapatkan dana riset dari Global Challenge Research Fund, British Royal Society selama tiga tahun, dari 2019 sampai 2021. Bagian penelitian ini menjadi bahan untuk program disertasi Ph.D. dari anggota tim LIPI, Adi

Patria, di Doshisha University, Japan yang sudah dimulai sejak September 2019.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

IV. MITIGASI BENCANA GEMPA BERBASIS SAINS

Indonesia merupakan laboratorium alam yang luar biasa untuk riset sesar aktif dan kegempaan, tetapi sekaligus menjadi tantangan besar untuk pembangunan karena hampir di semua wilayah ancaman gempa dan bahaya yang menyertainya tidak bisa diabaikan. Oleh karena itu, data penelitian sesar aktif dan kegempaan berperan langsung dalam mitigasi bahaya dan risiko gempa. Tanpa mengetahui dan memahami sumber gempanya dengan baik maka usaha mitigasi, termasuk sistem peringatan dini, akan tidak tepat sasaran.

Kasus Kota Padang adalah bukti nyata dari peran riset sesar aktif. Sejak tahun 2005 hingga sekarang menjadi fokus kegiatan para peneliti, praktisi kebencanaan, dan berbagai institusi nasional dan internasional dalam hal mitigasi tsunami padahal bencana tsunami belum terjadi. Usaha mitigasi ini tidak akan pernah ada tanpa dilatarbelakangi penelitian dan publikasi ilmiah yang melimpah dan berkualitas. Dengan demikian, riset selain menjadi penggerak tindakan pengurangan risiko bencana juga menjadi amunisi untuk fokus mitigasi.

4.1 Peranan Riset Sesar Aktif dalam Mitigasi Bencana Gempa dan Pembangunan Infrastruktur

Ancaman goncangan gempa paling dikenal oleh masyarakat karena area yang terdampak bisa sangat luas. Bahaya goncangan dimitigasi dengan analisis *seismic hazard*. Walaupun demikian, bahaya pergerakan di jalur sesar gempa tidak kalah pentingnya karena banyak wilayah perkotaan atau berpenduduk padat dan infrastruktur besar (yaitu gedung-gedung, bendungan, jembatan, dan lain-lain.) yang dilalui oleh jalur sesar aktif. Dari banyak kejadian gempa, kerusakan akibat pergerakan sesar cukup signifikan jumlahnya. Mitigasi pergerakan sesar dilaksanakan de-

ngan membuat sempadan jalur sesar aktif. Tentu saja mitigasi ini membutuhkan peta sesar aktif dengan akurasi dan skala yang memadai. Kerusakan akibat bahaaya ikutan gempa (gerakan tanah, likuefaksi, dan tsunami) sering lebih besar dari bahaaya primernya (khususnya goncangan dan pergerakan sesar), seperti yang terjadi pada gerakan tanah di Pariaman ketika gempa Padang 2009 yang menimbuln satu kampung, dan proses likuefaksi masif pada waktu gempa Palu 2018 yang menimbuln banyak rumah dan ribuan penghuninya.

Tujuan mitigasi bencana adalah meminimalkan efek merusak dari berbagai bahaaya yang sudah diperkirakan atau diperhitungkan. Hal ini sejalan dengan program pemerintah bahwa pembangunan dan rencana tata ruang, khususnya pengembangan wilayah perkotaan dan (kandidat) sentra-sentra ekonomi dan bisnis, harus didesain agar aman dan tangguh dari bencana. Mitigasi bencana membutuhkan pengetahuan sebaik-baiknya tentang karakteristik dan potensi dari sumber bencana alam itu sendiri. Jadi, mitigasi harus bersanding dengan riset dasar dan riset terapannya, seperti membuat peta-peta *hazard* (bahaya) dan *risk* (risiko). Singkatnya, program mitigasi bencana harus berbasis dan sejalan dengan sains dan riset.

4.2 Peranan Riset Sesar Aktif dalam Analisis Seismic Hazard dan Peraturan Bangunan Tahan Gempa

Peta *seismic hazard* sudah lama dikenal dan dipakai di Indonesia. Tujuannya adalah untuk standardisasi kode bangunan tahan gempa sesuai dengan zonasinya. Sampai sekarang sudah dilakukan 4 (empat) kali revisi Peta *Seismic Hazard* Indonesia. Peta yang pertama dibuat pada tahun 1978 oleh Konsultan New Zealand Beca Carter Hollings & Ferner yang kemudian dipakai dalam Peraturan Perencanaan Bangunan Tahan Gempa yang dikeluarkan tahun 1983 (Gambar 25). Pada 2002 dilakukan usaha

revisi peta yang kedua. Peta ini dipublikasikan di dalam SNI 03-1726-2002 (Gambar 26). Kelemahan utama dalam pembuatan peta-peta *seismic hazard* sampai tahun 2002 ini adalah kontribusi sumber gempa sesar aktifnya belum benar-benar diperhitungkan sehingga *input* sumber hanya berdasarkan data instrumental seismologi yang sangat regional.

Pada 2009, kami berinisiatif untuk merevisi Peta *Seismic Hazard* Indonesia karena yang lama (2002) dianggap sudah kedaluarsa. Kami kemudian dikenal sebagai Tim 9 karena terdiri dari 9 anggota ahli inti dari berbagai instansi dan perguruan tinggi. Peta *Seismic Hazard* Indonesia hasil Tim 9 dipublikasi tahun 2010 (Gambar 27) oleh Kementerian PUPR dan kemudian dituangkan ke dalam SNI 03-1726-2012 untuk perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Ini adalah peta *seismic hazard* Indonesia yang pertama yang sudah memasukkan data sesar aktif dengan baik.

Pada awal 2016 kembali dibentuk tim nasional guna merevisi lagi Peta *Seismic Hazard* Indonesia tahun 2010. Kegiatan tim difasilitasi oleh Kementerian PUPR, bersamaan dengan pembentukan PuSGeN di bawah Puskim PUPR. Saya menjadi Ketua Kelompok Kerja Geologi di PuSGeN dan sebagai kontributor utama untuk *input* data sesar aktif. Revisi peta hasil kerja PuSGeN dipublikasikan pada Agustus 2017 (Gambar 28). Peta ini sekarang sudah menjadi acuan SNI 03-1726-2019.

Produk PuSGeN selain peta-peta *seismic hazard* dengan metode *deterministic* dan *probabilistic* juga dilengkapi dengan buku berisi informasi yang cukup lengkap mengenai pembahasan data sumber gempa, sesar aktif-tektonik, dan juga metode untuk analisis *seismic hazard*-nya. Semua peta dan bukunya dapat

diakses oleh publik di website: <http://litbang.pu.go.id/puskim/page/detail/42/peta-sumber-dan-bahaya-gempa-2017/produk>.

4.3 Peranan Riset Sesar Aktif dalam Mitigasi Tsunami

Seperti halnya *seismic hazard*, tsunami akibat pergerakan sesar di bawah laut pun dapat dibuatkan peta bahaya tsunami-nya atau *tsunami-hazard map*. Peta *tsunami hazard* bahaya tsunami diperlukan untuk kepentingan jalur evakuasi dalam sistem peringatan dini dan juga untuk mitigasi tsunami dalam penge-lolaan tata ruang dan desain konstruksi tahan tsunami. Tanpa pengetahuan sesar aktif di bawah laut yang memadai maka peta bahaya tsunami tidak bisa dibuat dengan baik.

Peta bahaya tsunami yang pertama dibuat di Indonesia adalah untuk Kota Padang (Gambar 29). Waktu itu saya dan tim LIPI-Caltech adalah pelopor utama dalam propaganda mitigasi bahaya tsunami di Padang. Sebelumnya semua pihak hanya fokus ke wilayah Aceh yang sudah terkena tsunami tahun 2004, padahal mitigasi seharusnya untuk bencana di masa depan. Proses ini tidak mudah, membutuhkan banyak diskusi informal dan banyak pertemuan selama hampir dua tahun, dan akhirnya membentuk kesepakatan pada 2008 yang dikenal sebagai ‘Padang Protokol’; dan akhirnya Peta *Tsunami Hazard* Padang berhasil dibuat dan disepakati bersama. Peta perkiraan limpasan tsunami ini memakai sumber *megathrust* Mentawai hasil penelitian saya dan tim selama bertahun-tahun.

Peta bahaya tsunami untuk pulau-pulau di Kep. Mentawai akhirnya juga dibuat dalam kerangka program AIFDR-BNPB⁶⁹ (Gambar 30). Peta *Probabilistic Tsunami Hazard Analysis* (PTHA) Indonesia selesai pada tahun 2013⁷⁰ (Gambar 31), kemudian publikasi ilmiahnya keluar setahun kemudian⁷¹. Saya

adalah kontributor utama untuk *input* data sesar bawah laut yang dipakai dalam pemodelan tsunaminya.

4.4 Sistem Peringatan Dini Tsunami Berbasis Sains dan Riset

Pengembangan sistem peringatan dini Indonesia dikenal sebagai *Indonesian Tsunami Early Warning System* (INA-TEWS) (Gambar 32), dan perlu disesuaikan dengan karakter gempa dan tsunami serta kondisi geografis wilayah di Indonesia yang sangat bervariasi. Jadi, desain TEWS harus rinci dan spesifik untuk tiap wilayah. TEWS yang efektif harus mempunyai desain teknologi berdasarkan kajian sains, tidak asal comot, dan asal pasang.

TEWS diperlukan, tetapi kurang bijak apabila menempatkan program TEWS menjadi satu-satunya senjata andalan sehingga mengabaikan yang lain. Harus belajar dari pengalaman yang sudah terjadi. Ketiadaan pengetahuan ketika tsunami Aceh tahun 2004, kegagalan TEWS waktu tsunami Pangandaran tahun 2006, juga tsunami Mentawai tahun 2010, *false warning* tsunami tahun 2011 di Padang karena gempa di Lautan Hindia dikira *megathrust*. INA-TEWS juga tidak berfungsi dengan baik waktu tsunami gempa Palu dan tsunami Krakatau-Anyer tahun 2018. Faktanya, sampai saat ini sistem TEWS belum banyak membantu dalam menyelamatkan jiwa. Yang sudah terbukti menyelamatkan jiwa adalah pengetahuan dan kesigapan masyarakat; contohnya seperti *zero korban* di Pulau Simeuleu pada waktu tsunami Aceh karena adanya ‘kearifan lokal smong’. Selain itu, yang juga terbukti banyak memakan korban adalah karena tata ruang yang buruk sehingga menyulitkan proses evakuasi menjauhi pantai, seperti yang terjadi ketika tsunami Mentawai 2010 di mana satu desa habis karena posisinya di antara garis pantai

dan sungai di belakangnya sehingga masyarakat tidak bisa lari menghindar.

Program sistem peringatan dini tidak bisa hanya menjiplak teknologi dari negara lain yang sudah mapan, tetapi harus juga memahami program lain yang menjadi tulang punggung di belakangnya. Misalnya di Jepang, dibalik sistem TEWS yang luar biasa, mereka sudah intensif dalam mengembangkan riset dan pendidikan. Dalam usaha mitigasi yang terpadu, riset dan pendidikan kebencanaan harus menjadi prioritas.

4.5 Peran Pendidikan Pascasarjana

Pada tahun 2009 Australian-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR) mempunyai program *Earthquake Hazard Study* untuk Indonesia. Program dibagi menjadi tiga paket kegiatan yang diberikan kepada beberapa instansi terkait, yakni 1) *Active Fault Study* diberikan pada saya (Geoteknologi LIPI), 2) *Seismic Hazard Analysis* ke Badan Geologi, dan 3) *Ground motion study* ke BMKG.

Dana untuk *active fault study* awalnya dialokasikan untuk membayai program studi Ph.D. di Australia untuk beberapa orang. Akan tetapi, kami membuat proposal agar dana ini dipakai untuk mengembangkan program pascasarjana khusus untuk riset sesar aktif dan gempa di Indonesia. Prosesnya cukup alot, tetapi akhirnya disetujui. Inisiatif ini kemudian berhasil direalisasikan menjadi Program Graduate Research for Earthquake and Active Tectonics (GREAT) di Program Pascasarjana ITB. GREAT adalah program pascasarjana khusus studi gempa yang pertama di Indonesia, tetapi ironisnya harus berakhir pada tahun 2017 setelah dana bantuan dari Australia tidak bisa diperpanjang lagi.

GREAT berhasil menjadi angin segar, wadah diskusi dan tautan kegiatan bagi para peneliti gempa dari berbagai institusi

dan disiplin ilmu (geologi, seismologi, geodesi, teknik sipil). GREAT juga menyelenggarakan seminar ilmiah internasional tahunan yang masih dilaksanakan sampai sekarang. GREAT mempunyai peran kunci dalam mengakseserasi kegiatan dengan menambah jumlah peneliti di bidang riset gempa.

Dalam proposal awal yang kami buat, program pascasarjana GREAT disandingkan dengan wadah untuk penelitiannya, yaitu CenteR for Active Tectonics and Earthquake Research (CRA-TER) sehingga disebut sebagai Proposal GREAT-CRATER. Visinya CRATER merupakan lembaga independen (semacam konsorsium) untuk wadah kegiatan riset para peneliti gempa lintas instansi dan perguruan tinggi di Indonesia yang dapat memanfaatkan pasukan mahasiswa S2 dan S3 di bawah program GREAT. Jadi, GREAT-CRATER dicanangkan bisa menjadi ‘kawah candradimuka’ untuk menghasilkan pakar-pakar gempa yang mumpuni. Namun, karena keterbatasan dana dan juga kesulitan administrasi-birokrasi yang kurang lentur membuat wacana CRATER terbentur. Namun, sebagian rencana aktivitas dapat dimasukkan ke dalam program GREAT. Momentum semangat GREAT-CRATER tidak hilang. Sebagian visi CRATER akhirnya terwujud juga, tetapi dengan nama lain, yaitu PuSGeN di bawah Kementerian PUPR.

4.6 Peran Wadah *Center of Excellence*

Para peneliti gempa di Indonesia masih (sangat) sedikit, dan yang sedikit ini pun kenyataannya terpinggirkan, tidak bisa berkegiatan dengan optimal. Salah satu faktor utama yang menghambat adalah karena para peneliti dan instrumen penelitian tersebar di berbagai institusi dan perguruan tinggi. Oleh karena itu, solusinya adalah harus ada wadah sentral (nasional) yang lintas instansi, juga lintas bidang. Propaganda pentingnya kerja sama antar-instansi yang sering didengungkan masih se-

batas slogan saja karena untuk kerja sama yang produktif butuh wadah yang nyata.

Wadah yang sudah ada adalah Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN) yang berada di bawah Puskim PUPR. PuSGeN dibentuk dengan tugas terbatas, yaitu untuk memutakhirkan peta-peta *seismic hazard* Indonesia dan membuat peraturan SNI-nya untuk Struktur Bangunan Tahan Gempa. Hasil kerja PuSGeN sudah jelas, sukses dalam membuat Peta *Seismic Hazard* Indonesia 2017 berikut bukunya, yaitu tentang sumber dan bahaya gempa Indonesia. Produk PuSGeN ini sudah menjadi referensi nasional dan sangat diapresiasi dunia internasional karena kualitasnya sudah sesuai dengan *the state of the art*⁶⁴.

Visi ke depan, PuSGeN diharapkan lebih independen dan fungsinya tidak hanya untuk memutakhirkan Peta *Seismic Hazard* Indonesia secara berkala karena peta *seismic hazard* hanya dapat dimutakhirkan dan dikembangkan apabila ada *input* baru yang signifikan dari data sumber gempanya. Oleh karena itu, PuSGeN seharusnya dapat mengelola dana penelitian bersama untuk para anggotanya sehingga dapat membuat *grand design* riset nasional agar secara sistematis dan berkelanjutan terus mengisi kekosongan data sesar aktif dan kegempaan di Indonesia.

V. KESIMPULAN

Wilayah Indonesia yang terletak di antara lempeng tektonik aktif mempunyai aktivitas gempa yang sangat tinggi. Arsitektur seismo-tektonik Indonesia sangat beragam dengan berbagai fenomena gempa sehingga cocok untuk dijadikan laboratoriun alam riset gempa dan tsunami. Kondisi ini sekaligus menjadi tantangan besar untuk pembangunan yang aman dari bencana alam. Kontras dengan kebutuhan ini, bidang riset (sesar) gempa dan peranan sentralnya untuk mitigasi bencana belum begitu dipahami di Indonesia, bahkan di kalangan para ahli geologi dan geofisika sekalipun karena hampir seluruh komunitas geosains menekuni sisi eksplorasi dan eksplorasi sumber daya alam. Setelah bencana Aceh tahun 2004, riset gempa dan tsunami mulai mendapat perhatian luas. Baru pada tahun 2007 pemerintah mengeluarkan UU Kebencanaan yang menjadi tonggak pertama dalam mewajibkan mitigasi bencana alam.

Permasalahan utama yang harus dikerjakan adalah melakukan riset yang sistematis dan komprehensif dalam skala nasional untuk memahami dan mengkaji lebih lanjut berbagai sumber dan potensi bencananya. Ini karena tanpa pengetahuan dasar yang baik maka usaha mitigasi akan kehilangan arah, tidak efektif, dan tidak tepat sasaran.

Saya mulai mengembangkan riset sesar aktif sumber gempa sejak awal tahun 90-an di wilayah Sumatra, kemudian diteruskan ke Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi, Papua, dan Maluku. Hasil riset memperlihatkan bahwa hampir seluruh wilayah Indonesia terancam bencana gempa (dan tsunami). Hasil riset juga dapat merinci bahwa sistem sesar aktif sumber gempa di Indonesia

berbeda-beda karakteristik dan jenis potensi bahayanya dari satu wilayah ke wilayah lainnya.

Oleh karena itu, karakter dan potensi sumber gempa dan tsunami yang spesifik untuk setiap wilayah membutuhkan penanganan mitigasi bencana dengan desain spesifik juga, serta disesuaikan dengan kondisi sumber bencananya. Desain tersebut termasuk dalam hal materi pendidikan kebencanaan untuk masyarakat, desain program untuk menyiapkan masyarakat tangguh, dan juga desain sistem *monitoring* untuk peringatan dininya, tidak bisa asal-asalan. Inilah konsep mitigasi berbasis sains dan riset.

Data sumber gempa hasil riset sesar aktif sudah dipakai sebagai *input* untuk membuat peta-peta *seismic hazard* Indonesia yang dipublikasikan Kementerian PUPR tahun 2010 dan 2017. Peta ini kemudian dipakai untuk membuat SNI Peraturan Konstruksi Tahan Gempa, yaitu SNI 1726-2012 dan terakhir SNI 1726-2019. Namun, hal ini belum mencakup mitigasi baha-ya akibat pergerakan di jalur sesar dan bahaya ikutannya.

Kearifan lokal yang sering didengung-dengungkan dalam membangun masyarakat tangguh bencana (gempa) pada kenyataannya sudah banyak hilang dari bumi Nusantara. Padahal sejatinya interaksi antara proses dan kejadian bencana alam dengan manusia Indonesia sudah berlangsung selama ribuan bahkan mungkin puluhan ribu tahun. Untuk menggali kearifan lokal yang hilang diperlukan bantuan riset paleoseismologi dan arkeo-seismik untuk menemukan kembali fakta kejadian gempa besar di masa lampau yang terekam di alam.

VI. PENUTUP

Banyak jalur sesar aktif sumber gempa dan tsunami di Indonesia yang masih sedikit diteliti sehingga data gempa-tsunami masih terbatas. Hal ini memberikan peluang luar biasa untuk riset sekaligus merupakan tantangan besar untuk mitigasi bencana. Para peneliti gempa dan tsunami masih sedikit dan tersebar di berbagai institusi dan perguruan tinggi. Tidak satupun instansi ataupun universitas yang mempunyai cukup ahli untuk semua aspek gempa sehingga untuk mengembangkan kegiatan riset dan terapannya di bidang mitigasi bencana diperlukan wadah kerja sama untuk para periset yang tersebar di mana-mana tersebut agar dapat merencanakan dan melaksanakan riset gempa dan terapannya secara lebih berkualitas, terintegrasi, tepat sasaran, dan berkesinambungan.

Pembangunan sistem peringatan dini tsunami juga harus lebih serius melibatkan para peneliti gempa dan tsunami. Peralatan dan desain INA-TEWS sebaiknya diperhitungkan dengan cermat dan spesifik untuk setiap wilayah di Indonesia sesuai dengan karakter ancaman gempa dan tsunaminya sehingga dapat lebih efisien dan efektif. INA-TEWS harus memiliki tim ahli yang andal dan dapat bekerja kontinu untuk memelihara dan mengembangkannya dengan inovatif dan *up to date*. Satu langkah penting yaitu perlu dibentuk lembaga *center of excellence* dengan anggota yang dipilih (secara *ad-hoc*) dari berbagai institusi dan perguruan tinggi, seperti Lembaga PuSGeN.

VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas karunia dan rahmat-Nya sehingga pada hari ini saya dapat menyampaikan naskah orasi ilmiah Profesor Riset. Bakti saya kepada kedua orang tua yang sudah mendidik dan membesarkan saya dengan baik. Rasa cinta mendalam kepada istri dan anak-anak tersayang yang selalu memberikan suasana hangat, ceria, dan harmonis sehingga membuat rumah menjadi oasis yang menghilangkan rasa lelah dan penat dari kesibukan sehari-hari yang hampir tanpa jeda.

Pertama, saya mengucapkan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia atas penetapan saya sebagai Peneliti Utama; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Dr. Laksana Tri Handoko, Plh. Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia LIPI, Dr. Agus Haryono; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Bambang Subiyanto; Sekretaris Majelis Pengukuhan sekaligus Tim Penelaah Naskah Profesor Riset, Prof. Dr. Gadis Sri Haryani; Anggota Majelis dan Tim Penelaah Profesor Riset, Prof. Dr. Muh. Rahman Djuansah dan Prof. Dr. Sri Widiyantoro; serta panitia pelaksana Pengukuhan Profesor Riset ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Deputi Ilmu Pengetahuan Kebumian LIPI, Prof. Dr. Ocky Karna Radjasa; Sekretaris Utama LIPI, Nur Tri Aries Suestiningtyas, M.A.; Kepala Pusat Geoteknologi LIPI, Dr. Eko Yulianto; Kepala BOSDM LIPI, Dr. Heru Santoso; serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya orasi ini.

Dalam meniti perjalanan karier sebagai peneliti, saya banyak mendapatkan bimbingan, motivasi, dan dukungan dari berbagai pihak hingga dapat mencapai jenjang puncak. Secara khusus, saya ingin menyampaikan terima kasih kepada para pembim-

bing studi sejak program S1 sampai S3: Prof. Kerry Sieh yang pertama kali memperkenalkan saya dengan dunia riset geologi gempa dan kemudian menjadi pembimbing Ph.D. di California Institute of Technology, dan beliau juga yang menginspirasi melakukan kegiatan pendidikan kebencanaan untuk masyarakat melalui brosur, poster, dan temu muka langsung; Prof. K.B Spörly, pembimbing tesis M.Sc. di University of Auckland New Zealand dalam bidang Tektonik dan Geologi Struktur; dan Prof. Soejono Martodjoyo serta Prof. Sukendar Asikin (alm.), pembimbing tesis S1 di Geologi ITB. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada senior saya, Prof. Dr. Hery Harjono yang banyak memberi dukungan dan memotivasi sejak awal ketika studi di Caltech hingga setelah kembali ke LIPI.

Saya ucapkan terima kasih yang tulus untuk rekan-rekan sejawat di ITB, Bapak Andi Arief beserta Kantor Staf Khusus Presiden Bidang Sosial dan Kebencanaan periode 2009–2014, AIFDR-BNPB dan banyak pihak lainnya dalam menyukseskan pembentukan dan pelaksanaan Program GREAT dari tahun 2010 sampai 2017. Penghargaan yang tinggi juga disampaikan untuk rekan-rekan seperjuangan, BNPB, dan Kementerian PUPR yang sudah bersinergi dengan luar biasa hingga terlaksananya PuSGeN. Saya juga berterima kasih kepada seluruh personal manajemen, administrasi, dan rekan-rekan peneliti serta teknisi di Puslit Geoteknologi LIPI yang sudah banyak membantu dan membuat suasana tempat bekerja menjadi kondusif, hangat, dan menyenangkan.

Terakhir, saya ucapkan terima kasih kepada seluruh undangan yang telah meluangkan waktunya untuk hadir dalam acara ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Briggs RW, Sieh K, Meltzner AJ, **Natawidjaja DH**, Galetzka J, Suwargadi B, dkk. Deformation and slip along the Sunda megathrust in the great 2005 Nias-Simeulue earthquake. *Science* 2006; 311(5769): 1897–1901.
2. Konca AO, Avouac JP Sladen A, Meltzner AJ, Sieh K, Fang P, Li Z, Galetzka J, Genrich J, Chlieh M, **Natawidjaja DH**, Bock Y, Fielding EJ, Ji C, Helmberger DV. Partial rupture of a locked patch of the Sumatra megathrust during the 2007 earthquake sequence. *Nature* 2008; 456: 631–635. doi:10.1038/nature07572.
3. Sieh K, **Natawidjaja DH**, Meltzner AJ, Shen CC, Cheng H, Li KS, Suwargadi BW, Galetzka J, Philibosian B, Edwards RL. Earthquake supercycles inferred from sea-level changes recorded in the corals of West Sumatra. *Science* 2008; 322: 1674–1678. doi: 10.1126/science.1163589.
4. Hill EM, Borrero JC, Huang Z, Qiang Qiu, Banerjee P, **Natawidjaja DH**. The 2010 Mw7.8 Mentawai earthquake: Very shallow source of a rare tsunami earthquake determined from tsunami field survey and near-field GPS data. *Journal of Geophysical Research* 2012; 117. doi:10.1029/2012JB009159.
5. Hill EM, Han Yue, Barbot S, Lay T, Tapponier P, Hermawan I, Hubbard J, Banerjee P, Feng L, **Natawidjaja DH**, Sieh K. The 2012 Mw8.6 Wharton Basin sequence: A cascade of great earthquakes generated by near-orthogonal, young oceanic mantle faults. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 2015; 120. doi: 10.1002/2014JB011703.
6. **Natawidjaja DH**, Kusumadarma, S. Karakterisasi gerakan tanah dan sesar aktif untuk pengembangan daerah Liwa, Lampung Barat, Sumatra (Characterizations of landslides and active faults for the regional development of Liwa areas, Sumatra). Proceedings of the 22th Annual Convention of the Indonesian Association of Geologists (PIT IAGI). Yogyakarta: IAGI; 1993.

7. **Natawidjaja DH.** Quantitative geological assessments of Liwa earthquake 1994. Dalam: Proceeding of Annual Convention of Indonesian Association of Geophysicists (HAGI) 1994. (HAGI).
8. **Natawidjaja DH.** Neotectonics of the Sumatran Fault and paleogeodesy of the Sumatran subduction zone. California Institute of Technology; 2003.
9. **Natawidjaja DH**, Munasri, Suwargadi BW, Sieh K, Stebbins C. Educating people for future large subduction-zone earthquakes in western Sumatra. International Conference American Geophysical Fall Meeting. San Fransisco: USA; 2004.
10. Rivera L, Sieh K, Helmberger D, **Natawidjaja DH**. A comparative study of the Sumatran subduction-zone earthquakes of 1935 and 1984. Bulletin of the Seismological Society of America 2002; 92: 1721–1736.
11. Sieh K, **Natawidjaj DH**, Chlieh M, Galetzka J, Avouac J, Suwargadi BW, Edwards R, Cheng H. The giant subduction earthquakes of 1797 and 1833, West Sumatra: Characteristic couplets, uncharacteristic slip. American Geophysical Union Fall Meeting. San Fransisco, USA; 2004.
12. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Chlieh M, Galetzka J, Suwargadi BW, Cheng H, dkk. Source Parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls. Journal of Geophysical Research 2006; 111.
13. Philibosian B, Sieh K, Avouac J-P, **Natawidjaja DH**, Chiang H-W, Wu C-C et al. Earthquake supercycles on Mentawai segment of the Sunda megathrust in the seventeenth century and earlier. Journal of Geophysical Research Solid Earth 2017; 122: 642–676. doi: 10.1002/2016JB013560.
14. Sieh K, **Natawidjaja DH**. Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. Journal of Geophysical Research 2000; 105 (28): 295–228, 326.
15. Daryono MR, **Natawidjaja DH**, Sieh K. Twin-surface ruptures of the March 2007>6 earthquake doublet on the Sumatran fault. Bulletin of The Seismological Society of America 2012; 102: 2356–2367.

16. **Natawidjaja DH**, Daryono MR, Prasetya G, Liu PL, Hananto ND, Kongko W, Triyoso W, Puji AR, Meilano I, Gunawan E, Supendi P. The 2018 Mw7.5 Palu ‘supershear’ earthquake ruptures geological fault’s multisegment separated by large bends: results from integrating field measurements, LiDAR, swath bathymetry and seismic-reflection data. *Geophysical Journal International* 2020; 224(2): 985–1002. doi: f10.1093/gji/ggaa498.
17. Sieh K, Stuiver M, Brillinger D. A more precise chronology of earthquakes produced by the San Andreas fault in southern California. *Journal of Geophysical Research* 1989; 94: 603–623.
18. Sieh K. *Late Holocene displacement history along the south-central reach of the San Andreas fault*. Stanford University, Stanford, California; 1977.
19. Bradley K, Feng L, Hill EM, **Natawidjaja DH**, Sieh K. Implications of the diffuse deformations of the Indian Ocean lithosphere for slip partitioning of oblique plate convergence in Sumatra. *Journal of Geophysical Research* 2017; 122: 572–591. doi:10.1002/ 2016JB013549.
20. **Natawidjaja DH**, Bradley K, Daryono MR, Aribowo S, Herrin JS. Late Quaternary eruption of the Ranau Caldera and new geological slip rates of the Sumatran Fault Zone in Southern Sumatra, Indonesia *Geoscience Letters* 2017; 4. doi: 10.1186/s40562-017-0087-2.
21. Collings R, Rietbrock A, Lange D, Tilmann F, Nippes S, **Natawidjaja DH**. Seismic anisotropy in the Sumatra subduction zone. *Journal of Geophysical Research* 2013; 118: 5372–5390. doi:10.1002/jgrb.50157.
22. Collings R, Lange D, Rietbrock A, Tilmann F, **Natawidjaja DH**, Suwargadi B, dkk. Structure and seismogenic properties of the Mentawai segment of the Sumatra subduction zone revealed by local earthquake traveltimes tomography. *Journal of Geophysical Research* 2012; 117. doi:10.1029/2011jb008469.

23. Weller O, Lange D, Tilmann F, **Natawidjaja DH**, Rietbrock A, Collings RE, dkk. The structure of the Sumatran fault revealed by local seismicity. *Geophysical Research Letters* 2012; 39(1).
24. **Natawidjaja DH**. Siklus mega-tsunami di wilayah Aceh-Andaman dalam konteks sejarah. RISET 2015; 25: 49–62. doi:10.14203/risetgeotam2015.v25.107.
25. **Natawidjaja DH**, Bachtiar A, Endar B, Subandrio A, Daryono RM. Evidence of large pyramid-like structure predating 10,000-year BP at Mount Padang, West Java, Indonesia: Applications of geological-geophysical methods to explore buried man-made structures. Dalam: American Geophysical Union Fall Meeting. Proceeding AGU EOS Transaction. 2018.
26. **Natawidjaja DH**. Piramid Gunung Padang: Bukti peradaban Sundaland dari Zaman Es? Dalam: Mitos dan Bencana di Nusantara. Yogyakarta: Penerbit Ombak; 2015.
27. Katili JA, Hehuwat F. On the occurrence of large transcurrent faults in Sumatra, Indonesia. *Journal of Geoscience*, Osaka City University 1967; 10: 5–17.
28. **Natawidjaja DH**, Triyoso W. The Sumatran Fault Zone: From source to hazards. *Journal of Earthquake and Tsunami* 1 2007.
29. **Natawidjaja DH**. Major bifurcations, slip rates and a creeping segment of Sumatran fault zone in Tarutung–Sarulla–Sipirok–Padangsidempuan, Central Sumatra, Indonesia. *Indonesian Journal of Geosciences* 2018; 5: 137–160.
30. **Natawidjaja DH**. Updating active fault maps and sliprates along the Sumatran Fault Zone, Indonesia. Dalam: Qlobal Qolloqium on Geoscience and Engineering 2017. Editor Dr. Ma'ruf Mukti. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2018; 118 (012001). doi :10.1088/1755-1315/118/1/012001.
31. McCaffrey R, Zwick PC, Bock Y, Prawirodirdjo L, Genrich JF, Stevens CW, Puntodewo SS, Subarya C. Strain partitioning during oblique plate convergence in northern Sumatra: Geodetic and seismological constraint and numerical modeling. *Journal of Geophysical Research* 2000; 105(B12): 28.363–28.376.

32. McCaffrey R. Slip vectors and stretching of the Sumatran fore arc. *Geology* 1991; 19: 881–884.
33. Baroux E, Avouac J, Bellier O, Sebrier M. Slip-partitioning and fore-arc deformation at the Sunda Trench, Indonesia. *Terra Nova* 1998; 10: 139–144.
34. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Galetzka J, Suwargadi BW, Cheng H, Edwards RL, Chlieh M. Interseismic deformation above the Sunda megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai Islands, West Sumatra. *Journal of Geophysical Research* 2007; 112(B02404): 1029.
35. **Natawidjaja DH**. The seismic subduction cycle in Sumatra, Indonesia: Evidence from coral microatolls. Dalam: IAGA_IASPEI International Conference. IASPEI; 2003.
36. Nalbant SS, Steacy S, Sieh K, **Natawidjaja DH**, McCloskey J. Earthquake risk on the Sunda trench. *Nature* 2006; 435(7043): 757–758.
37. Meltzner AJ, Sieh K, H-W Chiang, C-C Shen, Suwargadi BW, **Natawidjaja DH**, dkk. Coral evidence for earthquake recurrence and an A.D. 1390–1455 cluster at the south end of the 2004 Aceh–Andaman rupture. *Journal of Geophysical Research* 2010; 115. doi:10.1029/2010JB007499.
38. Meltzner AJ, Sieh K, HW Chiang, CC Shen, Suwargadi BW, **Natawidjaja DH**, dkk. Persistent termini of 2004- and 2005- like ruptures of the Sunda megathrust. *Journal of Geophysical Research* 2012; 117. doi: 10.1029/2011JB008888.
39. Meltzner AJ, Sieh K, HW Chiang, CC Wu, Tsang LLH, CC Shen, dkk. Time-varying interseismic strain rates and similar seismic ruptures on the NiaseSimeulue patch of the Sunda megathrust. *Quaternary Science Review* 2015; 122: 258–281.
40. Meltzner A, Sieh K, Abrams M, Agnew DC, Hudnut KW, Avouac JP, **Natawidjaja DH**. Uplift and subsidence associated with the great Aceh-Andaman earthquake of 2004. *Journal of Geophysical Research* 2006; 111(B2). doi: 10.1029/2005JB003891.

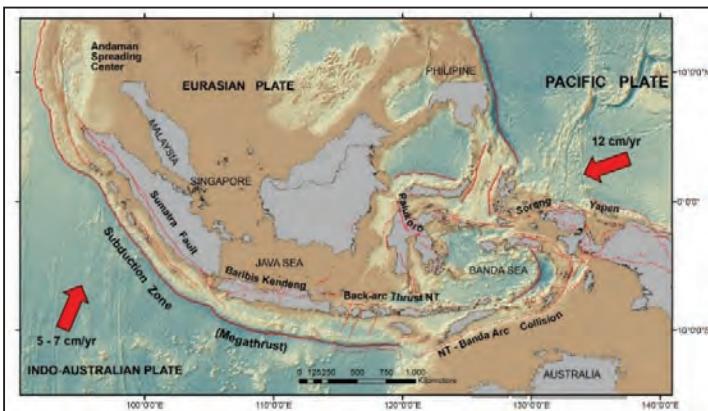
41. Hsu YJ, Simmons M, Avouac JP, Galetzka J, Sieh K, Chlieh M, **Natawidjaja DH**, dkk. Frictional afterslip following the 2005 Nias-Simeulue earthquake. *Science* 2006; 312(5782).
42. Chlieh M, Avouac JP, Sieh K, **Natawidjaja DH**. Investigation of interseismic strain accumulation along the Sunda megathrust, offshore Sumatra. *Journal of Geophysical Research* 2006.
43. Chlieh M, Avouac JP, Sieh K, **Natawidjaja DH** Galetzka J. Heterogenous coupling of the Sumatran megathrust constrained by geodetic and paleogeodetic measurements. *Journal of Geophysical Research* 2008; 113.
44. Subarya CM, Chlieh L, Prawirodirdjo, Avouac J-P, Bock Y, Sieh K, Meltzner A, **Natawidjaja DH**, McCaffrey R. Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra-Andaman earthquake. *Nature* 2006; 440: 46–51, doi:10.1038/nature04522.
45. **Natawidjaja DH**. Dekade teror gempa di Sumatra. GEOMAGZ Badan Geologi 1 2012.
46. Newcomb KR, McCann WR. Seismic history and seismotectonics of the Sunda Arc. *Journal of Geophysical Research* 1987; 92: 421–439.
47. Philibosian BK, Sieh K, **Natawidjaja DH**, Chiang HW, Shen C-C, Suwargadi BW dkk. An ancient shallow slip event on the Mentawai segment of the Sunda megathrust, Sumatra. *Journal of Geophysical Research* 2012; 117.
48. Diament M, Harjono H, Karta K, Deplus C, Dahrin D, Zen Jr MT, dkk. The Mentawai fault zone off Sumatra: A new key for the geo-dynamics of western Indonesia. *Geology* 1992; 20(3): 259–262.
49. Wiseman K, Banerjee P, Sieh K, Burgman R, **Natawidjaja DH**. Another potential source of destructive earthquake and tsunami offshore of Sumatra. *Geophysical Research Letters* 2011; 38(10). doi: 10.1029/ 2011GL047226.
50. McCloskey J., Lange D, Tillmann F, Nalbant SS, Bell A, **Natawidjaja DH**, Harjono H. The September 2009 Padang earthquake. *Nature Geoscience* 2010; 3(2): 70–71.

51. McCaffrey R. Estimates of modern arc-parallel strain rates in fore arcs. *Geology* 1996; 24: 27–30.
52. Daryono MR, **Natawidjaja DH**, Sapiie, B, Cummins P. Earthquake Geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia. *Tectonophysics* 2017; 751: 180–191.
53. **Natawidjaja DH**, Daryono MR. Present-day tectonics and earthquake history of Java, Indonesia. Dalam Proceeding Geosea XIV Congress and 45Th IAGI Annual Convention 2016 (IAGI, Trans Luxury Hotel, Bandung, 10–13 Oktober 2016).
54. **Natawidjaja DH**. Misteri patahan sumber gempa Yogyakarta 2006 (Mystery of earthquake fault of the Yogyakarta 2006 even). *GEO-MAGZ* 6, 2016.
55. Walter TR, Wang R, Luehr BG, Wassermann J, Behr Y, Parolai S, dkk. The 26 May 2006 magnitude 6.4 Yogyakarta earthquake south of Mt.Merapi volcano: Did lahar deposits amplify ground shaking andthus lead to the disaster. *Geochemistry, Geophysics, Geosystem* 2008; 9.
56. Daryono MR. Paleoseismologi Tropis Indonesia: Studi kasus di Sesar Sumatra, Sesar Palukoro, dan Sesar Lembang (Paleoseismology in Tropical Indonesia. Case Studies in Sumatran Fault, Palukoro Fault, and Lembang Fault) [disertasi]. [Bandung]: Institut Teknologi Bandung; 2016.
57. Meilano I, Abidin HZ, Andreas H, Gumilar I, Sarsito D, Hanifa R, dkk. Sliprate estimation of the Lembang fault, West Java, from geodetic observations. *Journal of Disaster Research* 2012; 7.
58. Abidin HJ, Andreas H, Kato T, Ito T, Meilano I, Kimata F, **Natawidjaja DH**, Harjono H. Crustal deformation studies in Java (Indonesia) using GPS. *Journal of Earthquake and Tsunami* 2009; 3: 77–88.
59. Abidin HJ, Andreas H, Gamal M, Sidiq TP. Studi pergerakan Sesar Lembang dengan menggunakan metode survei GPS. *Geoaplika* 2008; 3: 105–117.

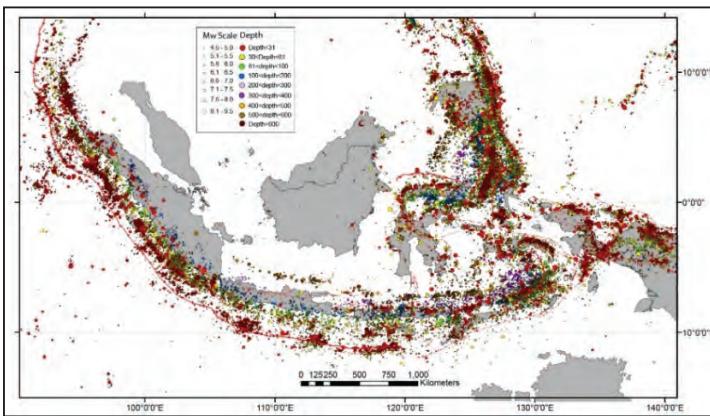
60. Mandrinovella I, Widiyantoro S, Nugraha AD, Triastuty H. Studi dan penentuan mekanisme fokus gempa mikro sekitar Cekungan Bandung. *Jurnal Geofisika* 2008; 2.
61. Smyth H, Hall R, Nichols GJ. Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on active continental margin. *The Geological Society of America Special Paper* 2008; 436: 199–222.
62. Van Bemmelen R. *The Geology of Indonesia*. US: Government Printing Office; 1949.
63. Irsyam M, **Natawidjaja DH**, Melano I., Widiyantoro S, dkk. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017. Jakarta: Pusat Studi Gempa Nasional, Kementerian PUPR; 2017.
64. Irsyam M, Cummins PR, Asrurifak M, Faizal L, **Natawidjaja DH**, Widiyantoro S, dkk. Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia. *Earthquake Spectra* 2020. doi: 10.1177/8755293020951206.
65. **Natawidjaja DH**, Daryono MR, Prasetya G, Liu PL, Hananto ND, Kongko W, dkk. The 2018 Mw7.5 ‘supershear’ earthquake ruptures geological fault’s multisegments separated by large bends: results from integrating field measurements, LiDAR, swath bathymetry and seismic-reflection data. Dalam Proceeding of American Geophysical Union Fall Meeting 2018.
66. Wesnousky SG. Predicting endpoints of earthquake ruptures. *Nature* 2006; 444: 358–360.
67. Wesnousky SG. Seismological and structural evolution of strike-slip fault. *Nature* 1988; 335: 340–343.
68. Pamumpuni A. Neotektonik Papua [disertasi]. [Bandung]: Institut Teknologi Bandung; 2017.
69. Griffin J, Pranantyo IR, Kongko W, Haunan A, Robiana R, Miller V, Davies G, Horspool N, Memunah I, Widjaja WB, **Natawidjaja DH**, Latief H. Assessing tsunami hazard using heterogeneous slip models in the Mentawai Islands, Indonesia. *The Geological Society of London, Special Publication*. 2016; 441(1): 47–70.

70. Horspool N, Pranantyo IR, Griffin J, Latief H, **Natawidjaja DH**, Kongko W, dkk. A national tsunami hazard assesment for Indonesia. Australia: Geoscience Australia; 2013.
71. Horspool NI, Pranantyo IR, Griffn J, Latief H, **Natawidjaja DH**, Kongko W, dkk. A probabilistic tsunami hazard assesment for Indonesia. Natural Hazards and Earth System Sciences 2014; 14(11): 3105–3122, doi:10.5194/nhess-14-3105.
72. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Ward SN, Cheng H, Edwards RL, Galetzka J, Suwargadi BW. Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indone-sia. Journal of Geophysical Research 2004; 109 (B4): 1–34.
73. Lange D, Tilmann F, Henstock T, Rietbrock A, **Natawidjaja DH**, Kopp H. Structure of the central Sumatra subduction zone re-vealed by local earthquake travel-time tomography using an am-phibious network. Solid Earth 2018; 9: 1035–2018, doi: 10.5194/se-9-1035.

LAMPIRAN



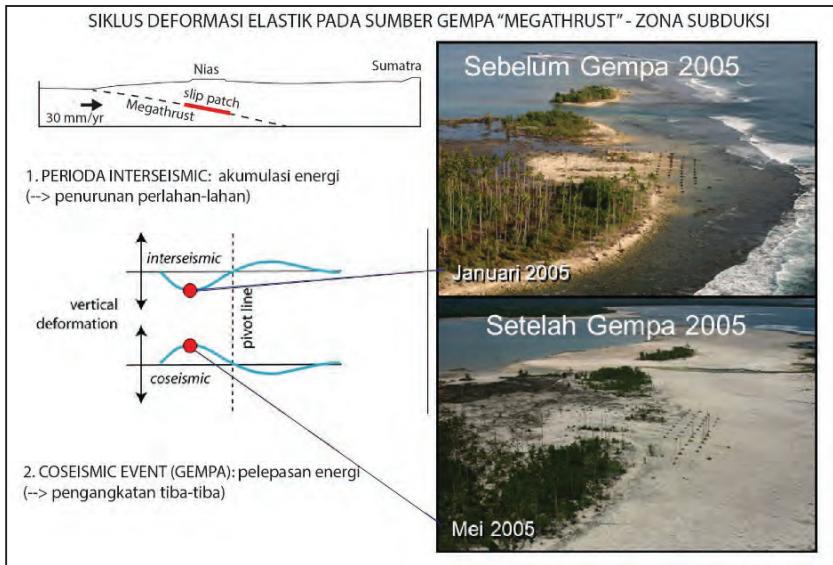
Gambar 1. Peta Tektonik Sesar Aktif Indonesia



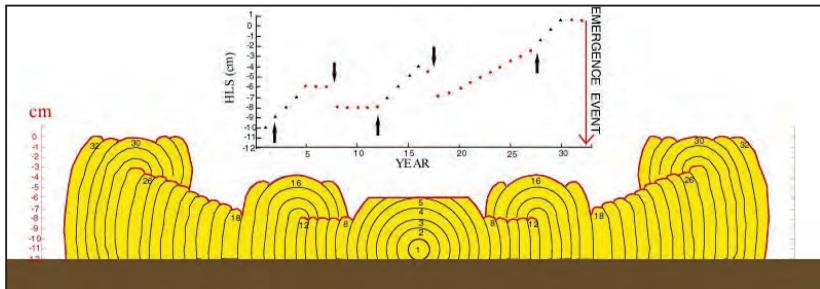
Sumber: Katalog PuSGeN (1900–2016)

Gambar 2. Peta Seismisitas

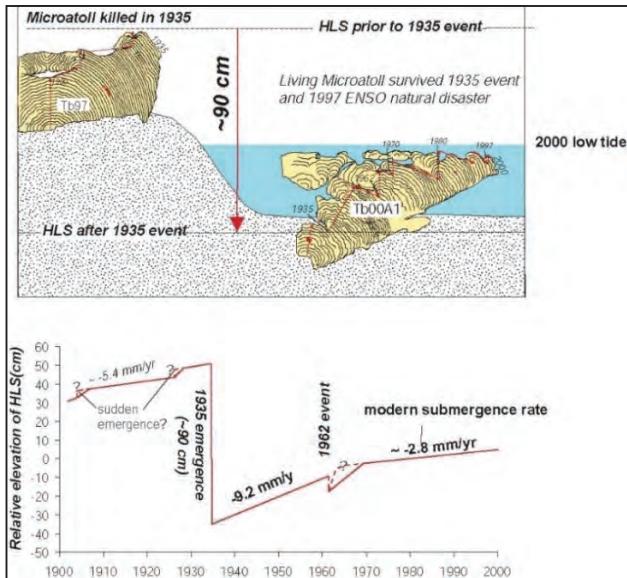
Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 3. Siklus Megathrust di Nias

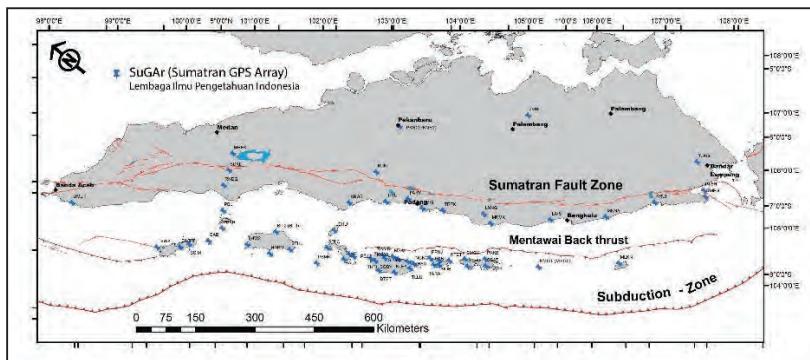


Gambar 4. Kartun sayatan vertikal dari tubuh koral mikroatol untuk studi siklus gempa berdasarkan naik-turunnya muka air laut.

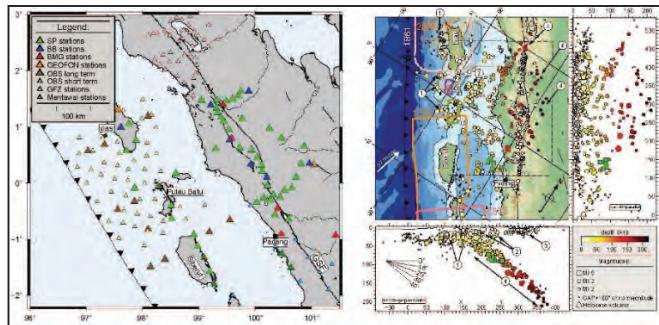


Sumber: Natawidjaja dkk. (2004)

Gambar 5. Rekaman Siklus gempa yang terekam koral di Kep. Mentawai memperlihatkan pengangkatan gempa tahun 1935 dan proses penurunan sebelum dan setelah gempa⁷².

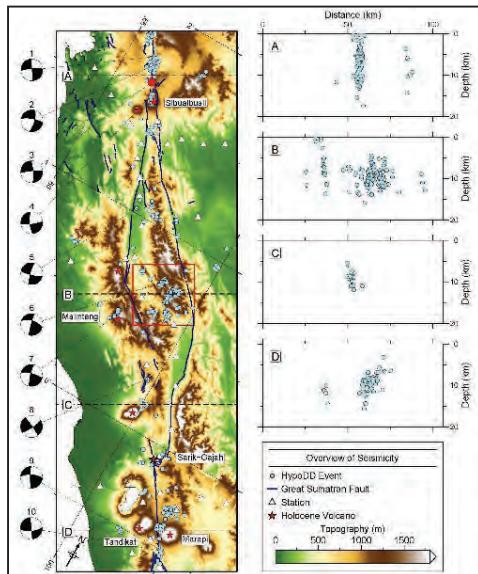


Gambar 6. Jaringan SuGAr. Sekarang berjumlah ~ 60 stasiun GPS kontinu dilengkapi sistem telemetri data.



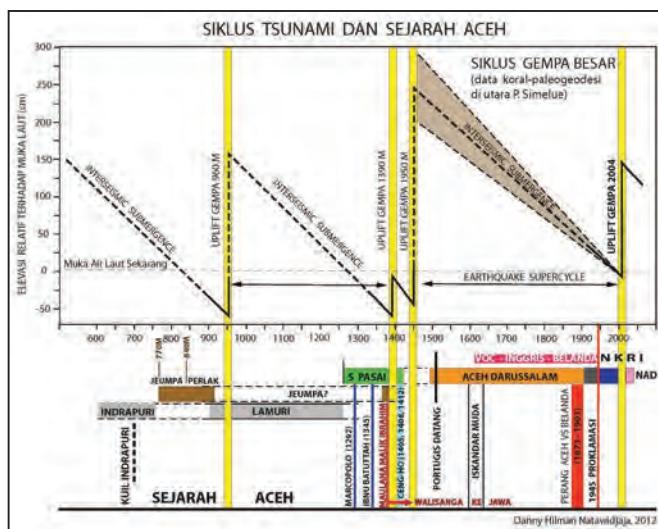
Sumber: Weller dkk. (2012)

Gambar 7. Riset seismologi dengan jaringan seismometer sementara yang dipasang pada tahun 2008 dan 2009. Hasilnya memindai geometri dari zona subduksi²³.



Sumber: Lange dkk. (2018)

Gambar 8. Jaringan seismometer yang terpasang di sepanjang Sesar Sumatra memperlihatkan aktivitas gempa yang terkonsentrasi di jalur sesar⁷³.



Sumber: Natawidjaja (2015)

Gambar 9. Siklus Gempa-Tsunami dalam sejarah Aceh²⁴



Sumber: Sumber: Natawidjaja dkk. (2018)(<https://www.essoar.org/doi/10.1002/essoar.10500119.1>)

Gambar 10. Kunjungan Presiden di Gunung Padang, Januari 2012

Evidences of large pyramid-like structure predating 10,000 Year BP at Mount Padang, West Java, Indonesia: Applications of geological geophysical methods to explore buried man-made structures

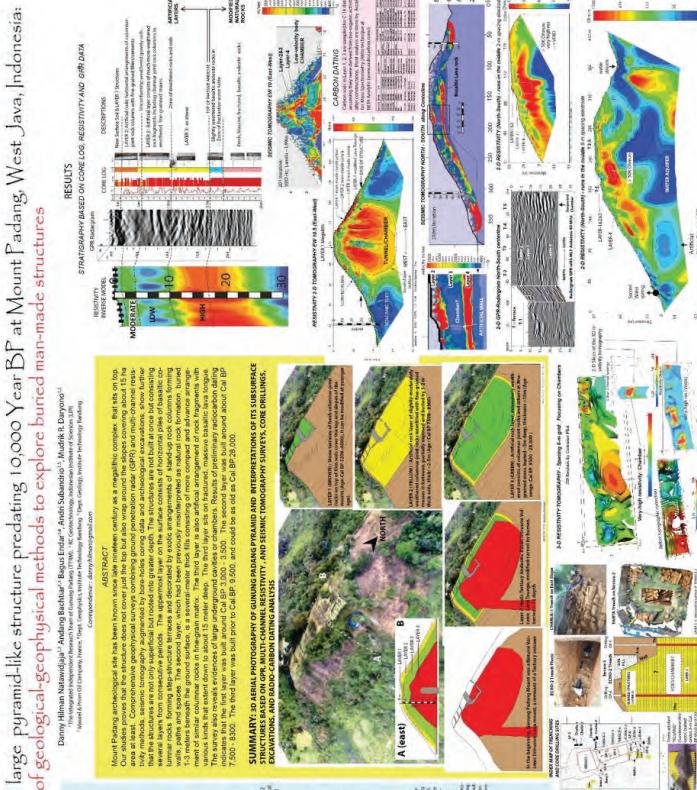
BACKGROUND



METHOD



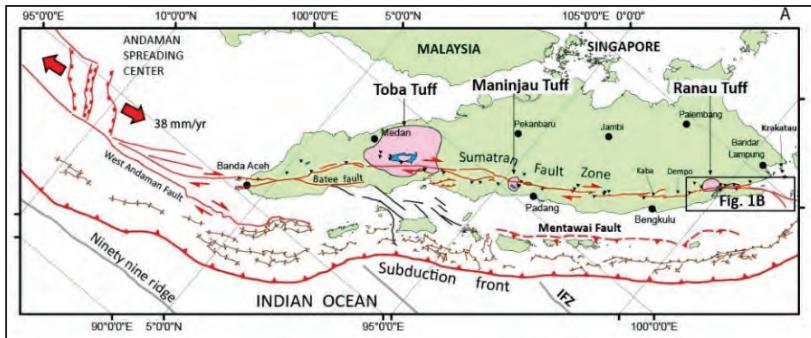
The study area is located in the northern part of Mount Padang, West Java, Indonesia. The mountain is a stratovolcano with a prominent crater lake. The study area is characterized by a large, irregularly shaped clearing or excavation site, which appears to be man-made. The surrounding terrain is hilly and covered in dense vegetation. The study area is located at an elevation of approximately 1,500 meters above sea level. The terrain is rugged and rocky, with several small streams and waterfalls. The study area is located in a relatively flat area, which appears to be a valley or a depression in the mountain. The terrain is rugged and rocky, with several small streams and waterfalls. The study area is located in a relatively flat area, which appears to be a valley or a depression in the mountain.



Sumber: Natawidjaja dkk. (2018)(https://www.essar.org/doi/10.1002/essar.10500119.1)

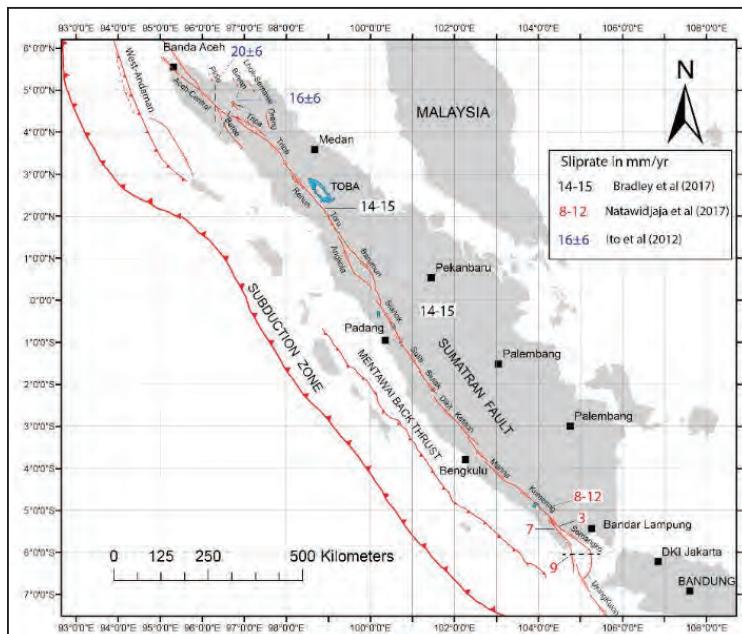
Gambar 11. Poster Geo-arkeologi Gunung Padang di AGU fall meeting, Washington DC 2018.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



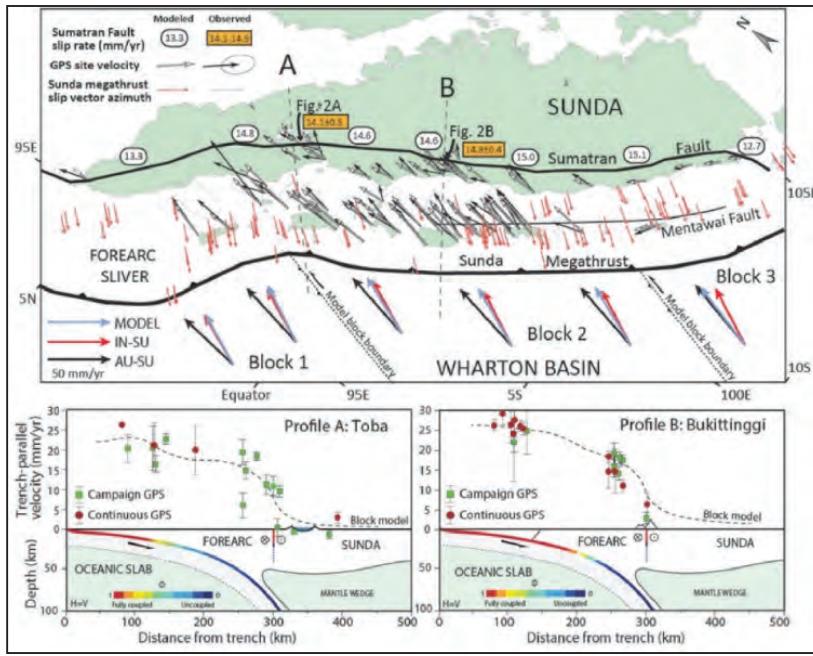
Sumber: Natawidjaja dkk. (2017)

Gambar 12. Tatanan Seismotektonik Sumatra: Sesar Zona Subduksi-Megathrust, Sesar Mentawai, dan Sesar Sumatra²⁰



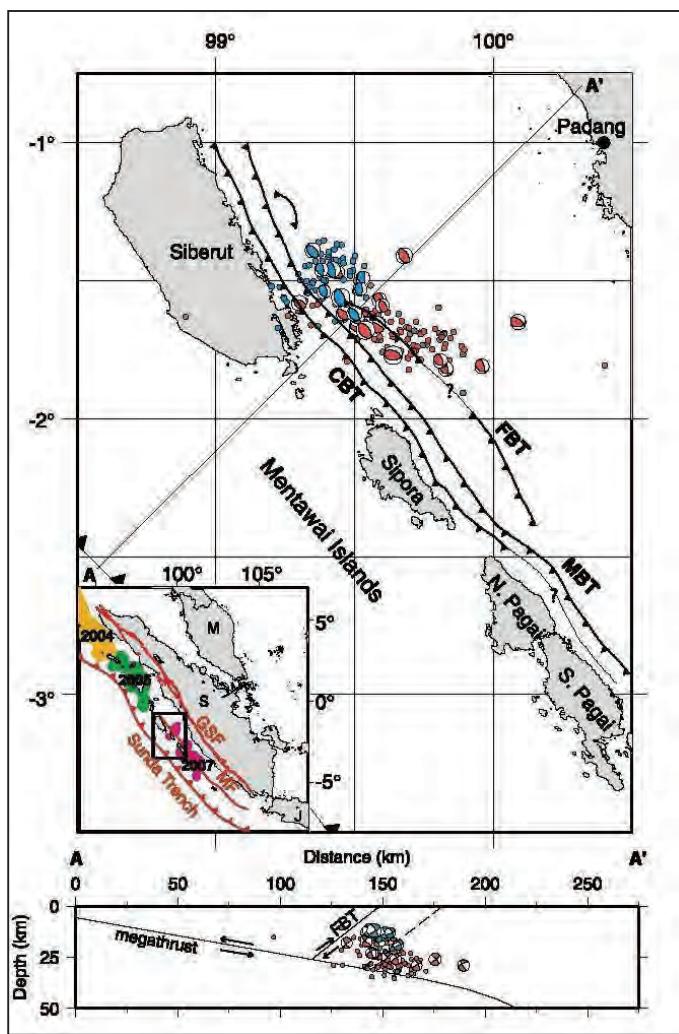
Sumber: Natawidjaja (2018); Natawidjaja (2018)

Gambar 13. Revisi Terkini Peta dan Laju Gerak Sesar Sumatra^{29,30}



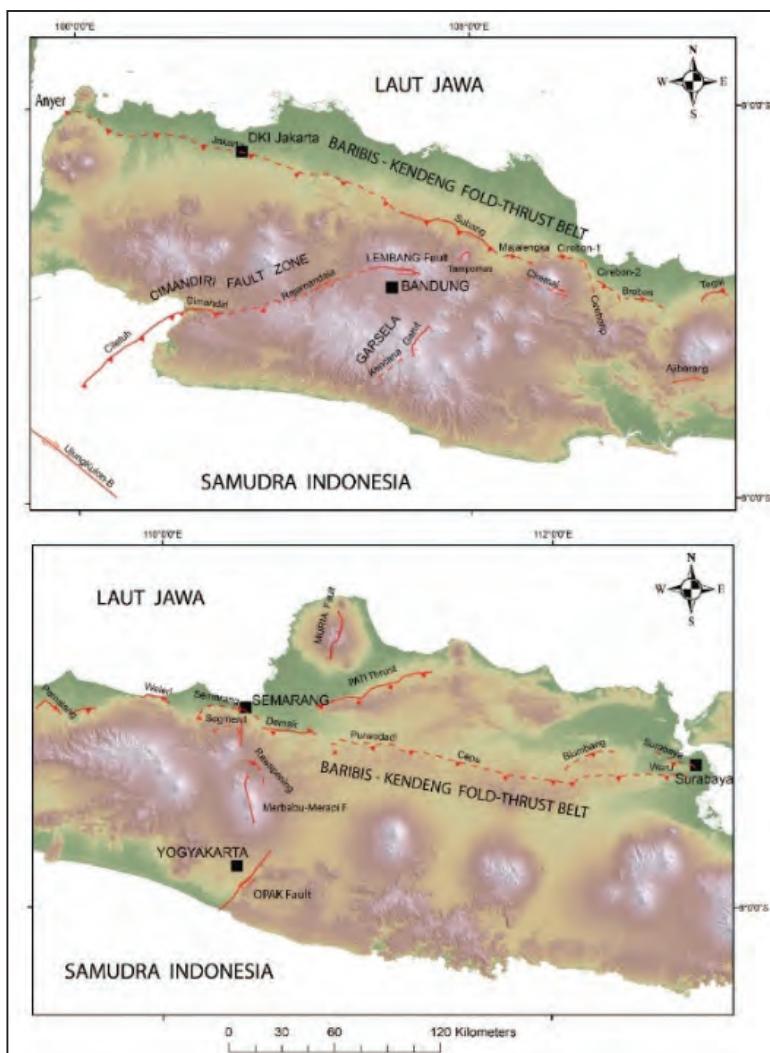
Sumber: Bradley dkk. (2017)

Gambar 14. Pengukuran laju gerak sesar berdasarkan data GPS kontinu SuGAr. Laju gerak Sesar Sumatra konstan sekitar 15 mm/tahun¹⁹.



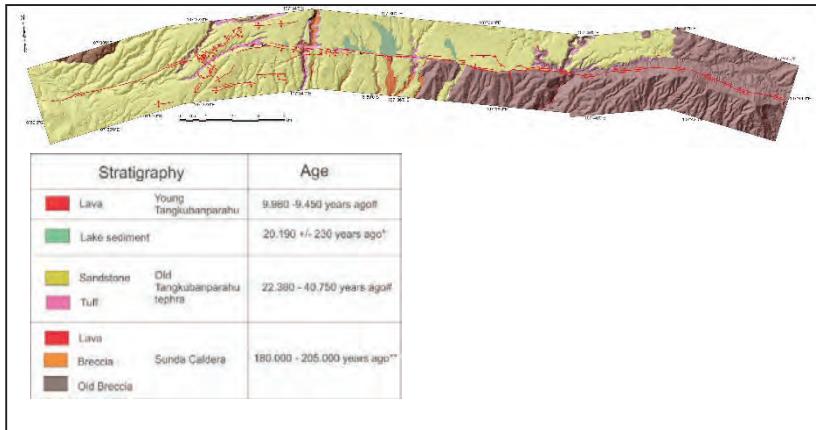
Sumber: Wiseman dkk. (2011)

Gambar 15. Bukti Sesar Mentawai Backthrust Aktif Ketika Terjadi Gempa Tahun 2005 dan 2009⁴⁹



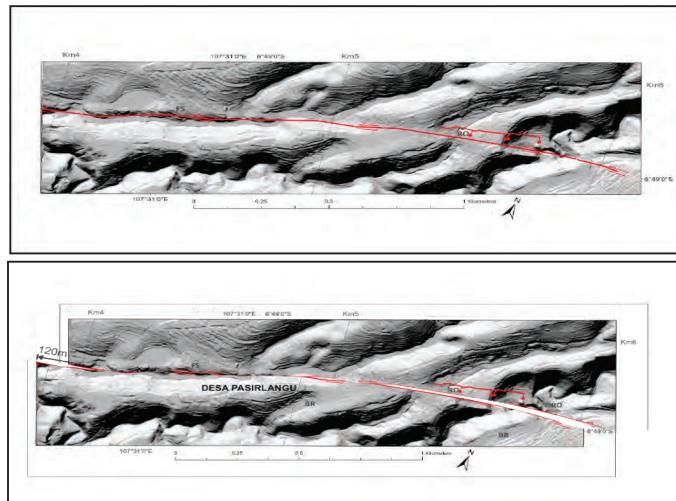
Gambar 16. Peta Sesar Aktif di Pulau Jawa

Buku ini tidak diperjualbelikan.



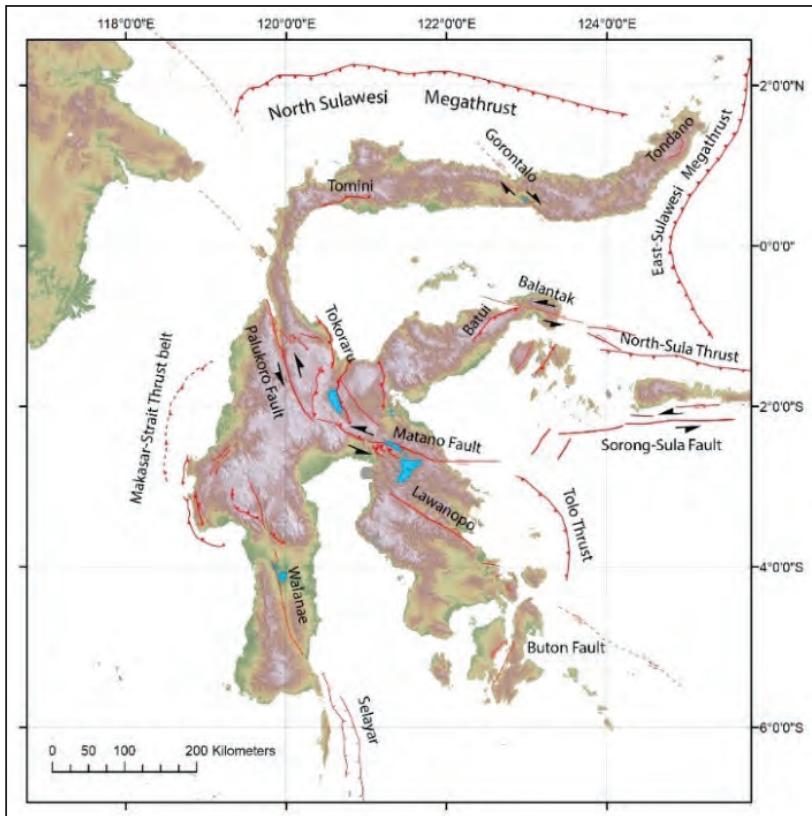
Sumber: Daryono dkk. (2017)

Gambar 17. Pemetaan Detil Sesar Lembang Berdasarkan Data LIDAR dan Survei Lapangan⁵²

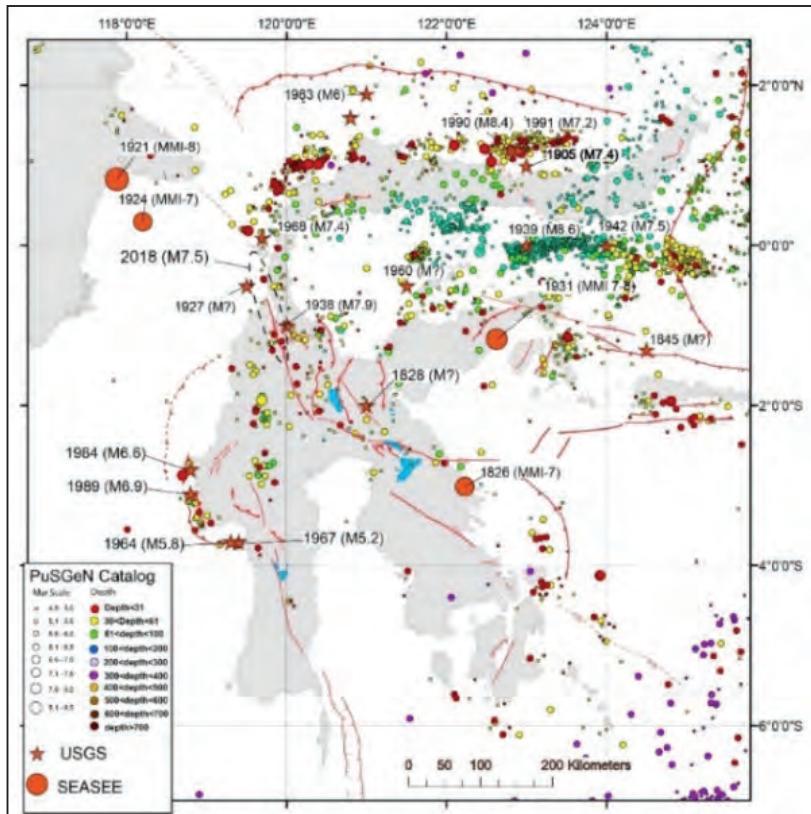


Sumber: Daryono dkk. (2017)

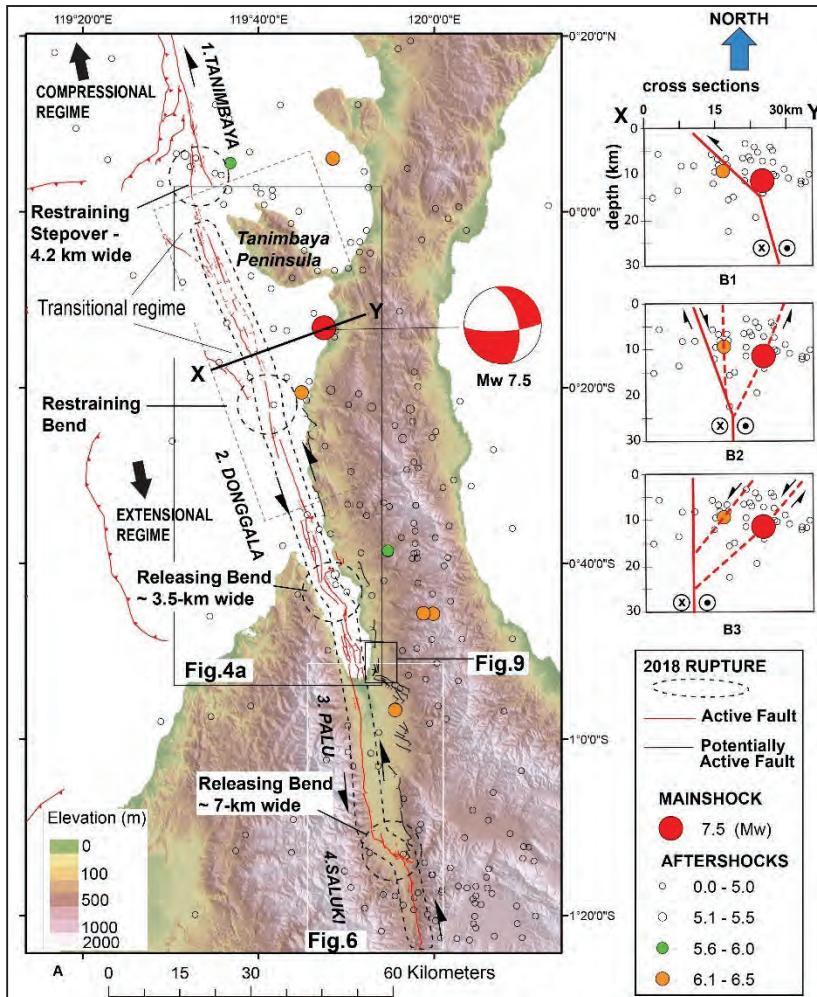
Gambar 18. Lembah sungai yang tergesekan sinistral sebesar $120 \pm 30 \text{ m}^2$. Umur sungai diperkirakan sekitar 40 ribu tahun sehingga laju-gerak sesar $1,95\text{--}3,45 \text{ mm/tahun}$.



Gambar 19. Peta Sesar Aktif di Pulau Sulawesi



Gambar 20. Peta Sebaran Gempa di Sulawesi Berdasarkan Katalog Gempa PuSGeN



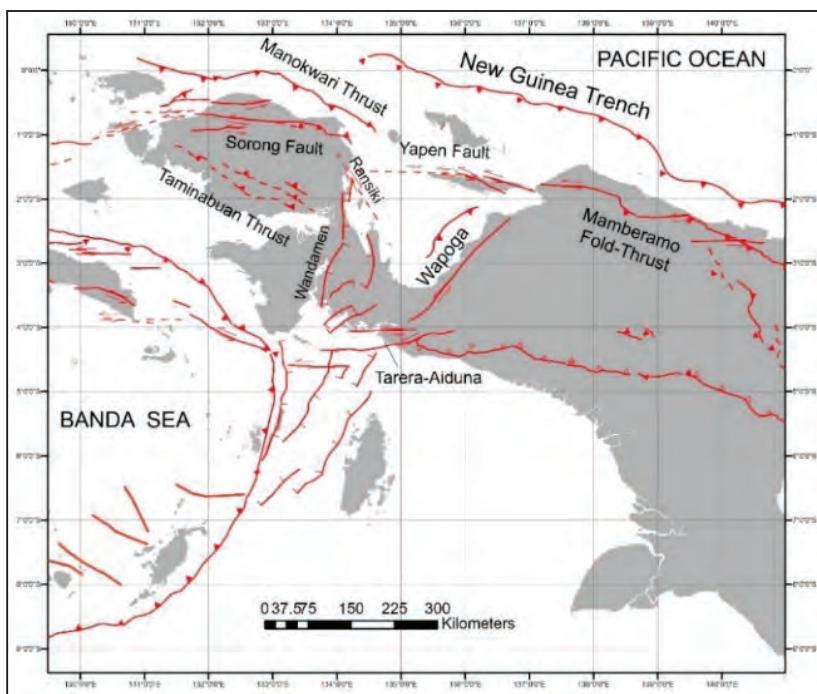
Sumber: Natawidjaja dkk. (2020)

Gambar 21. Hasil Studi Sesar Gempa Palu yang Terjadi Tanggal 28 September 2018¹⁶



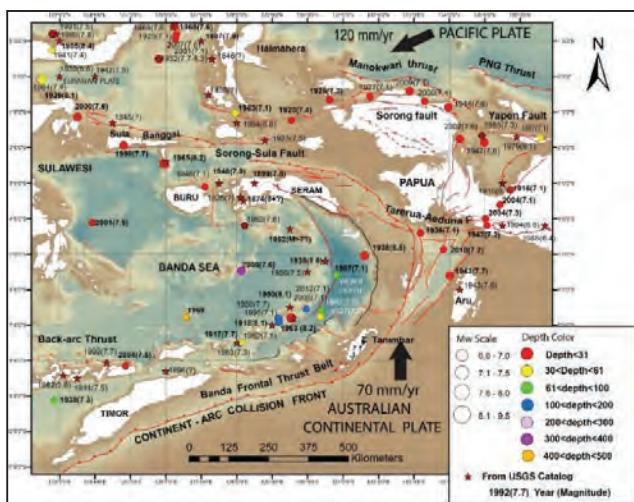
Sumber: Natawidjaja dkk. (2020)

Gambar 22. Rekahan Sesar Gempa Palu 2018 (A–J) dan Bencana Likuefaksi (K dan L)¹⁶

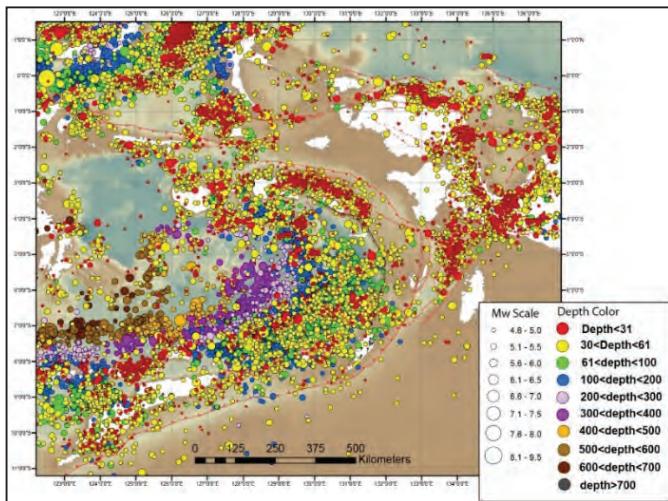


Sumber: Pamumpuni (2017)

Gambar 23. Peta Sesar Aktif di Pulau Papua⁶⁸

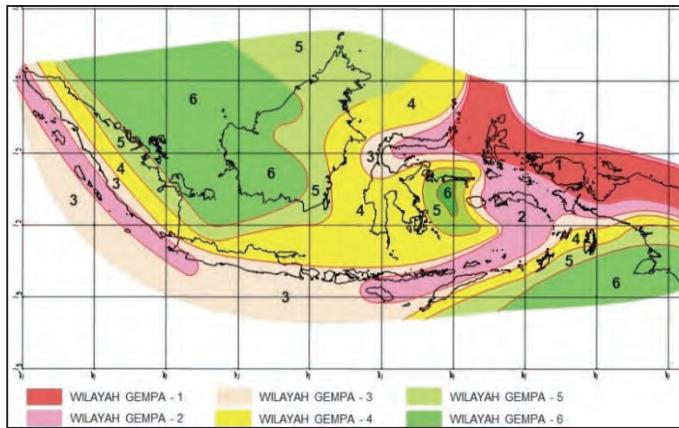


Gambar 24. Peta Sesar Aktif di Wilayah Laut Banda

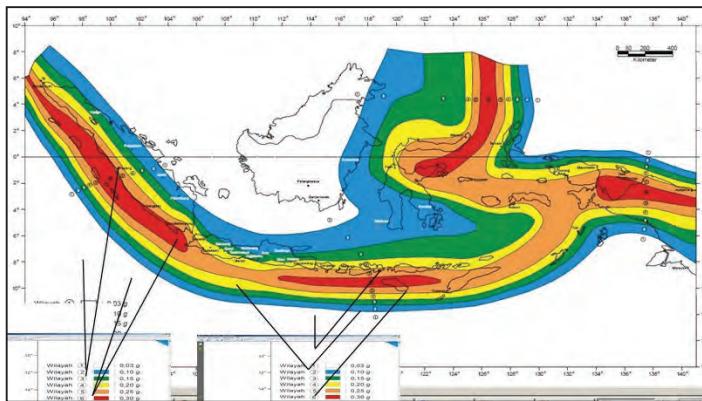


Sumber: Data Katalog Gempa PuSGeN

Gambar 25. Peta Sebaran Gempa Tahun 1900–2016

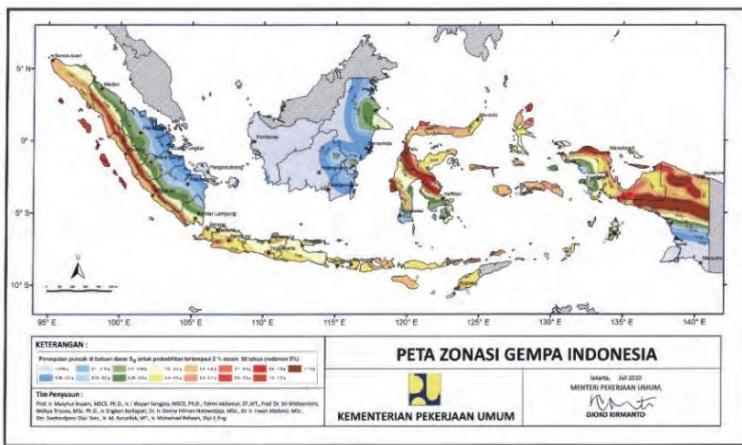


Gambar 26. Peta Seismic Hazard Indonesia yang Dibuat Konsultan New Zealand Beca Carter Hollings & Ferner tahun 1978.

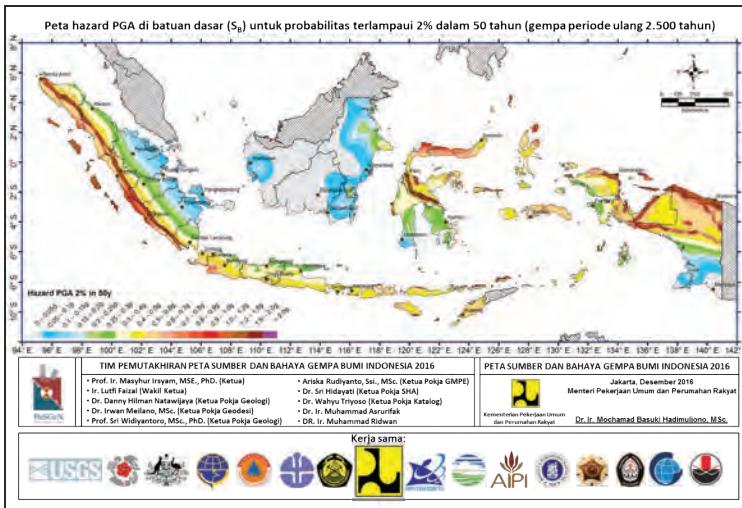


Gambar 27. Peta Probabilistic Seismic Hazard Indonesia yang dituangkan dalam SNI 03-1726-2002 memakai periode ulang 500 tahun (10% probability of exceedance in 50 years).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 28. Peta PSHA (periode ulang 2.500 tahun) yang dibuat oleh Tim 9 dan dipublikasikan tahun 2010.

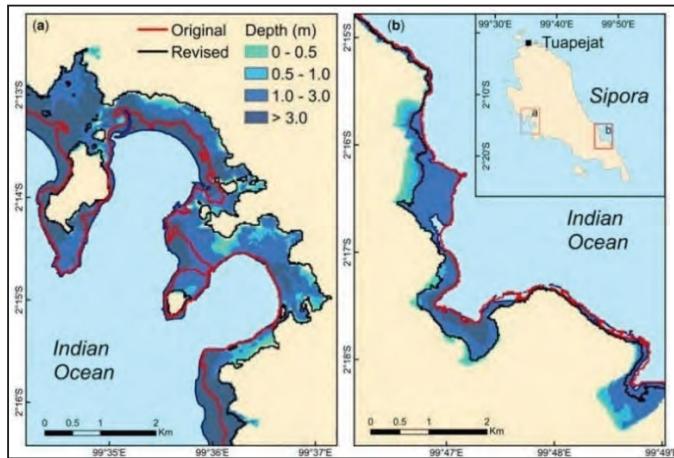


Sumber: PuSGen (2017)

Gambar 29. Peta PSHA (periode ulang 2500 tahun)

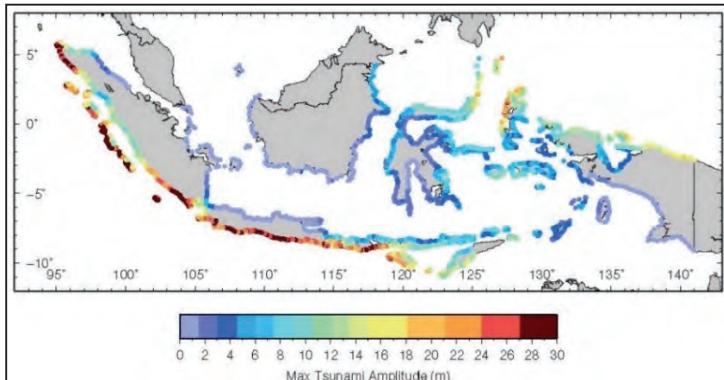


Gambar 30. Peta Bahaya Genangan Tsunami untuk Kota Padang yang Dibuat oleh The Last Mile Project Indonesia-Jerman Berdasarkan Kesepakatan Padang Protokol Tahun 2008



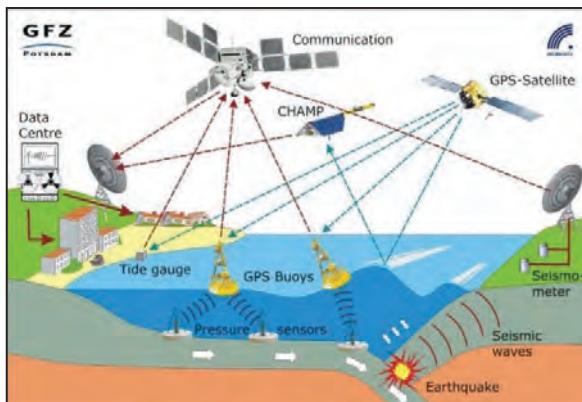
Sumber: Griffin dkk. (2016)

Gambar 31. Peta Bahaya Genangan Tsunami Detail untuk Wilayah Pulau Sipora di Kep. Mentawai⁶⁹



Sumber: Horspool dkk. (2013); Horspool dkk. (2014)

Gambar 32. Peta Probabilistic Tsunami Hazard untuk Wilayah Indonesia yang Dipublikasikan Tahun 2013 dan 2014 dalam Kerangka Program AIFDR-BNPB^{70,71}



Gambar 33. Konsep monitoring gempa INA-TEWS menggunakan jaringan sensor seismometer, GPS kontinu, alat sensor perubahan muka laut. Untuk saat ini yang difungsikan baru jaringan seismometer, yang lain hanya sebatas untuk konfirmasi.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Buku International

1. Burbidge DR, Cummins PR, Mleczko R, Latief H, Noktari M, **Natawidjaja DH**, dkk. A Probabilistic tsunami hazards assessment of the Indian Ocean Nations. Australia: Geoscience Australia; 2011.

Bagian dari Buku Internasional

2. Irsyam M, Hendriyawan, Aldimar F, Triyoso W, **Natawidjaja DH**, Kertapati E, dkk. Past earthquake in Indonesia and new seismic hazard maps for earthquake design of building and infrastructures. Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, Geotechnical and Earthquake Engineering 25. Dordrecht: Springer 2013: 33–46. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5675-5_3.

Buku Nasional

3. **Natawidjaja DH**. Plato tidak bohong: Atlantis ada di Indonesia (with English version: Plato never lies: Atlantis in Indonesia). Jakarta: Booknesia; 2012.

Bagian dari Buku Nasional

4. **Natawidjaja DH**, Sapiie B, Daryono MM, Marliyani GI, Pamumpuni A, Mukti MM, dkk. Geologi gempa Indonesia. Dalam: Irsyam M, Widiyantoro S, **Natawidjaja DH**, Meilano I, Rudyanto A, Hidayati S dkk., editor. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017. Bandung: Kementerian PUP-PuSGeN; 2017. 19–80.
5. **Natawidjaja DH**. Piramid Gunung Padang: Bukti peradaban Sundaland dari Zaman Es? Myths and disasters in Nusantara., Makalah dipresentasikan di Seminar “Borobudur Writer and Cultural Festival”, 17 November 2015. Yogyakarta: Penerbit Ombak.

6. **Natawidjaja DH.** Hidup di atas tiga lempeng: gunung api dan bencana geologi. Jakarta: Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral; 2011.
7. **Natawidjaja DH.** 7.6 Skala richter gempa Manokwari-Pesan alam Papua Barat. Papua: Pemerintah Provinsi Papua Barat dan P3ISIP; 2009.
8. **Natawidjaja DH.** Perkembangan IPTEK gempa dan penelitian gempa di Indonesia. Towards Bright and Brilliant Indonesia: Indonesia Science Year and 100 Years of Einstein Theory. Jakarta: LIPI Press; 2005.

Jurnal Internasional

9. Briggs RW, Sieh K, Meltzner AJ, Natawidjaja DH, Galetzka J, Suwargadi B, dkk. Deformation and slip along the Sunda megathrust in the great 2005 Nias-Simeulue earthquake. *Science* 2006; 311: 1897–1901.
10. Konca AO, Avouac JP, Sladen A, Meltzner AJ, Sieh K, Fang P, Li Z, Galetzka J, Genrich J, Chlieh M, **Natawidjaja DH**, Bock Y, Fielding EJ, Ji C, Helmberger DV. Partial rupture of a locked patch of the Sumatra megathrust during the 2007 earthquake sequence. *Nature* 2008; 456: 631–635, doi: 10.1038/nature07572.
11. Sieh K, **Natawidjaja DH**, Meltzner AJ, Shen C-C, Cheng H, Li KS, Suwargadi BW, Galetzka J, Philibosian B, Edwards RL. Earthquake supercycles inferred from sea-level changes recorded in the corals of West Sumatra. *Science* 2008; 322: 1674–1678, doi:10.1126/science.1163589.
12. Hill EM, Borrero JC, Huang Z, Qiang Qiu, Banerjee P, **Natawidjaja DH**, dkk. The 2010 Mw7.8 Mentawai earthquake: Very shallow source of a rare tsunami earthquake determined from tsunami field survey and near-field GPS data. *Journal of Geophysical Research* 2012; 117. doi:10.1029/2012JB009159.
13. Hill EM, Han Yue, Barbot S, Lay T, Tapponier P, Hermawan I, Hubbard J, Banerjee P, Feng L, **Natawidjaja DH**, Sieh K. The 2012 Mw 8.6 Wharton Basin sequence: A cascade of great earthquakes generated by near-orthogonal, young oceanic man-

- tle faults. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 2015; 120. doi:10.1002/2014JB011703.
14. Rivera L, Sieh K, Helmberger D, **Natawidjaja DH**. A comparative study of the Sumatran subduction-zone earthquakes of 1935 and 1984. *Bulletin of the Seismological Society of America* 2002; 92: 1721–1736.
 15. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Chlieh M, Galetzka J, Suwargadi BW, Cheng H, dkk. Source parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls. *J. Geophys. Res.* 2006; 111.
 16. Philibosian B, Sieh K, Avouac J-P, **Natawidjaja DH**, Chiang H-W, Wu C-C, dkk. Earthquake supercycles on Mentawai segment of the Sunda megathrust in the seventeenth century and earlier. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 2017; 122(1): 642–676, doi:10.1002/2016JB013560.
 17. Sieh K, **Natawidjaja D**. Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research* 2000; 105: 28295–228326.
 18. Daryono MR, **Natawidjaja DH**, Sieh K. Twin-surface ruptures of the March 2007 >6 earthquake doublet on the Sumatran fault. *Bulletin of The Seismological Society of America* 2012; 102: 2356–2367.
 19. **Natawidjaja DH**, Daryono MR, Prasetya G, Udrekha, Liu PLF, Hananto ND, dkk. The 2018 Mw7.5 Palu ‘supershear’ earthquake ruptures geological fault’s multisegment separated by large bends: results from integrating field measurements, LiDAR, swath bathymetry and seismic-reflection data. *Geophysical Journal International* 2020; 224: 985–1002, doi:10.1093/gji/ggaa498.
 20. Bradley K., Feng L, Hill EM, **Natawidjaja DH** & Sieh K. Implications of the diffuse deformations of the Indian Ocean lithosphere for slip partitioning of oblique plate convergence in Sumatra. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 2017; 122: 572–591. doi:doi:10.1002/2016JB013549.

21. **Natawidjaja DH**, Bradley K, Daryono MR, Aribowo S, Herrin JS. Late quaternary eruption of the Ranau Caldera and new geological slip rates of the Sumatran fault zone in Southern Sumatra, Indonesia. *Geoscience Letters* 2017; 4(1): 1–5. doi: 10.1186/s40562-017-0087-2.
22. Collings R, Rietbrock A, Lange D, Tilmann F, Nippes S, **Natawidjaja DH**. Seismic anisotropy in the Sumatra subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 2013; 118: 5372–5390, doi:10.1002/jgrb.50157.
23. Collings R, Lange D, Rietbrock A, Tilmann F, **Natawidjaja DH**, Suwargadi BW, dkk. Structure and seismogenic properties of the Mentawai segment of the Sumatra subduction zone revealed by local earthquake traveltimes tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 2012; 117. doi:10.1029/2011jb008469.
24. Weller O, Lange D, Tilmann F, **Natawidjaja DH**, Rietbrock A, Collings RE, dkk. The structure of the Sumatran fault revealed by local seismicity. *Geophysical Research Letters* 2012; 39.
25. **Natawidjaja DH**, Triyoso W. The Sumatran fault zone: From source to hazards. *Journal of Earthquake and Tsunami* 2007; 1(1): 21–47.
26. **Natawidjaja DH**. Major bifurcations, slip rates and a creeping segment of Sumatran fault zone in Tarutung – Sarulla – Sipirok – Padangsidempuan, Central Sumatra, Indonesia. *Indonesian Journal of Geosciences* 2018; 5(2): 137–160.
27. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Galetzka J, Suwargadi BW, Cheng H, Edwards R. Interseismic deformation above the Sunda megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai Islands, West Sumatra. *Journal of Geophysical Research* 2007; 112. doi: 10.1029/2006JB004450.
28. Nalband SS, Steacy S, Sieh K, **Natawidjaja DH**, McCloskey J. Earthquake risk on the Sunda trench. *Nature* 2006; 435: 757–758.
29. Meltzner AJ, Sieh K, Chiang H-W, Shen C-C, Suwargadi BW, **Natawidjaja DH**, dkk. Coral evidence for earthquake recurrence and an A.D. 1390–1455 cluster at the south end of the 2004 Aceh–

- Andaman rupture. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2010; 115(B10). doi: 10.1029/2010JB007499.
- 30. Meltzner AJ, Sieh K, Chiang H-W, Shen C-C, Suwargadi BW, **Natawidjaja DH**, dkk. Persistent termini of 2004- and 2005-like ruptures of the Sunda megathrust. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 2012; 117(B4), doi:10.1029/2011JB008888.
 - 31. Meltzner AJ, Sieh K, Chiang H-W, Wu C-C, Tsang LLH, Shen C-C, Hill EM, Suwargadi BW, **Natawidjaja DH**, Philibosian B, Briggs RW. Time-varying interseismic strain rates and similar seismic ruptures on the NiaseSimeulue patch of the Sunda megathrust. *Quaternary Science Review* 2015; 122: 258–281.
 - 32. Meltzner A, Sieh K, Abrams M, Agnew DC, Hudnut KW, Avouac J-P, **Natawidjaja DH**. Uplift and subsidence associated with the great Aceh-Andaman earthquake of 2004. *J.Geophys. Res.* 2006; 111(B2). doi: 10.1029/2005JB003891..
 - 33. Hsu YJ, , Simmons M, Avouac J-P, Galetzka J, Sieh K, Chlieh M, **Natawidjaja DH**, Prawirodirdjo L, Bock Y. Frictional afterslip following the 2005 Nias-Simeulue earthquake. *Science* 2006; 312.
 - 34. Chlieh M, Avouac J-P, Sieh K, **Natawidjaja DH**. Investigation of interseismic strain accumulation along the Sunda megathrust, offshore Sumatra. *Journal of Geophyscial Research* 2008; 113: B05305.
 - 35. Chlieh M, Avouac J-P., Sieh K, **Natawidjaja DH**. & Galetzka J. Heterogenous coupling of the Sumatran megathrust constrained by geodetic and paleogeodetic measurements. *Journal of Geophysical Research* 2008; 113.
 - 36. Subarya C, Chlieh M, Prawirodirdjo L, Avouac J-P, Bock Y, Sieh K, Meltzner A, **Natawidjaja DH**, McCaffrey R. Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra-Andaman earthquake. *Nature* 2006; 440: 46–51, doi:10.1038/nature04522.
 - 37. Philibosian B, Sieh K, **Natawidjaja DH**, Chiang HW, Shen C-C, Suwargadi BW, dkk. An ancient shallow slip event on the Mentawai segment of the Sunda megathrust, Sumatra. *Journal of Geophysical Research* 2012; 117.

38. Wiseman K, Banerjee P, Sieh K, Burgman R, **Natawidjaja DH**. Another potential source of destructive earthquake and tsunami offshore of Sumatra. *Geophysical Research Letters* 2011; 38. doi:10.1029/2011GL047226.
39. McCloskey J, Lange D, Tillmann F, Nalbant SS, Bell A, **Natawidjaja DH**, Harjono H. September 2009 Padang earthquake. *Nature Geoscience* 2010; 3: 70–71.
40. Daryono MR., **Natawidjaja DH**, Sapiie B, Cummins P. Earthquake geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia. *Tectonophysics* 2017; 751: 180–191.
41. Abidin HJ, Andreas H, Kato T, Ito T, Meilano I, Kimata F, **Natawidjaja DH**, Harjono H. Crustal deformation studies in Java (Indonesia) using GPS. *Journal of Earthquake and Tsunami* 2009; 3: 77–88.
42. Irsyam M, Cummins PR, Asrurifak M, Faizal L, **Natawidjaja DH**, Widiyantoro S, dkk. Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia. *Earthquake Spectra* 2020; 36: 112–136. doi: 10.1177/8755293020951206.
43. Griffin J, Pranantyo IR, Kongko W, Haunan A, Robiana R, Miller V, Davies G, Horspool N, Memunah I, Widjaja WB, **Natawidjaja DH**, Latief H. Assessing tsunami hazard using heterogeneous slip models in the Mentawai Islands, Indonesia. Geological Society, London, Special Publications. 2017; 441(1): 47–70.
44. Horspool N, Pranantyo I, Griffn J, Latief H, **Natawidjaja DH**, Kongko W, dkk. A probabilistic tsunami hazard assesment for Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2014; 14: 3105–3122, doi: 10.5194/nhess-14-3105-2014.
45. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Ward S, Cheng H, Edwards RL, Galetzka J, dkk. Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indonesia. *J.Geophys. Res.* 2004; 109(B4): 1–34.
46. Lange D, Tilmann F, Henstock T, Rietbrock A, **Natawidjaja DH**, Kopp H. Structure of the central Sumatra subduction zone revealed by local earthquake travel-time tomography using an am-

- phibious network. *Solid Earth* 2018; 9: 1035–2018, doi: 10.5194/se-9-1035-2018.
- 47. Wan JX, Meltzner AJ, Switzer AD, Lin K, Wang X, Bradley SL, **Natawidjaja DH**, dkk. Relative sea-level stability and the radiocarbon marine reservoir correction at Natuna Island, Indonesia, since 6400 yr BP. *Marine Geology*. 2020;430:106342.
 - 48. Salman R, Hill EM, Feng L, Lindsey EO, Mele Veedu D, Barbot S, Banerjee P, Hermawan I, **Natawidjaja DH**. Piecemeal rupture of the Mentawai Patch, Sumatra: the 2008 Mw 7.2 North Pagai earthquake sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2017; 122(11): 9404–9419.
 - 49. Murty SA, Goodkin NF, Halide H, **Natawidjaja DH**, Suwargadi B, Suprihanto I, dkk. Climatic influences on southern Makassar Strait salinity over the past century. *Geophysical Research Letters*. 2017; 44(23): 11.967–11.975.
 - 50. Meltzner AJ, Switzer AD, Horton BP, Ashe E, Qiu Q, Hill DF, Bradley SL, Kopp RE, Hill EM, Majewski JM, **Natawidjaja DH**. Half-metre sea-level fluctuations on centennial timescales from mid-Holocene corals of Southeast Asia. *Nature Communications*. 2017; 8(1): 1–6.
 - 51. Afnimar A, Kobayashi R, **Natawidjaja DH**. Source processes of the March 2007 Singkarak earthquakes inferred from teleseismic data. *J MathFundSci*. 2017; 46(2): 159–168.
 - 52. Tsang LLH, Hill EM, Barbot S, Qiu Q, Feng L, Hermawan I, PBanerjee P, **Natawidjaja DH**. Afterslip following the 2007 Mw 8.4 Bengkulu earthquake in Sumatra loaded the 2010 Mw 7.8 Mentawai tsunami earthquake rupture zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2016; 121(12): 9034–9049.
 - 53. Feng L, Barbot S, Hill EM, Hermawan I, Banerjee P, **Natawidjaja DH**. Footprints of past earthquakes revealed in the afterslip of the 2010 Mw 7.8 Mentawai tsunami earthquake. *Geophysical Research Letters*. 2016; 43(18): 9518–9526.
 - 54. Gagan MK, Sosdian SM, Scott-Gagan H, Sieh K, Hantoro WS, **Natawidjaja DH**, dkk. Coral 13C/12C records of vertical sea-

- floor displacemnt during megathrust earthquakes west of Sumatra. *Earth & Planetary Science Letter*. 2015; 432: 461–71.
55. Feng L, Hill EM, Banerjee P, Hermawan I, Tsang LLH, **Natawidjaja DH**, dkk. A unified GPS-based earthquake catalog for the Sumatran plate boundary between 2002 and 2013. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2015; 120(5): 3566–98.
 56. Philibosian B, Sieh K, Avouac JP, **Natawidjaja DH**, Chiang HW, Wu CC, dkk. Rupture and variable coupling behavior of the Mentawai segment of the Sunda megathrust during the supercycle culmination of 1797 to 1833. *J Geophys Res Solid Earth* 2014; 119(9): 7258–87.
 57. Li L, Huang Z, Qiu Q, **Natawidjaja DH**, Sieh K. Tsunami-induced coastal change: scenario studies for Painan, West Sumatra, Indonesia. *Earth, Planets and Space*. 2012; 64(10): 2.
 58. Collings R, Lange D, Rietbrock A, Tilmann F, **Natawidjaja DH**, Suwargadi B, dkk. Structure and seismogenic properties of the Mentawai segment of the Sumatra subduction zone revealed by local earthquake traveltimes tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2012; 117(B1).
 59. Singh SC, Hananto ND, Chauhan AP, Permana H, Denolle M, Hendriyana A, **Natawidjaja DH**. Evidence of active backthrusting at the NE Margin of Mentawai Islands, SW Sumatra. *Geophysical Journal International*. 2010; 180(2): 703–14.
 60. Muhari A, Immamura F, **Natawidjaja DH**, Diposaptono S, Latief H, Post J, Ismail FA. Tsunami mitigation efforts with pTA in west Sumatra Province, Indonesia. *Journal of Earthquake and Tsunami*. 2010; 4(4): 341–68.
 61. Nalbant SS, Steacy S, Sieh K, **Natawidjaja DH**, McCloskey J. Earthquake risk on the Sunda trench. *Nature*. 2005; 435(7043): 756–7.
 62. Sieh K, Ward SN, **Natawidjaja DH**, Suwargadi BW. Crustal deformation at the Sumatran subduction zone. *Geophysical Research Letters*. 1999; 26(20): 3141–4.

63. Wan JX, Meltzner AJ, Switzer AD, Lin K, Wang X, Bradley SL, **Natawidjaja DH**, dkk. Relative sea-level stability and the radiocarbon marine reservoir correction at Natuna Island, Indonesia, since 6400 yr BP. *Marine Geology*. 2020; 430: 106342.
64. Wils K, Daryono MR, Praet N, Santoso AB, Dianto A, Schmidt S, Morgan V, Huang JJS, Kusmayanto E, Purnama S, **Natawidjaja DH**, Marc D. The sediments of Lake Singkarak and Lake Maninjau in West Sumatra reveal their earthquake, volcanic and rainfall history. *Sedimentary Geology*. 2021; 416: 105863.
65. Wils K, Deprez M, Kissel C, Vervoort M, Van Daele M, Daryono MR, Cnudde V, **Natawidjaja DH**, Marc D. Earthquake doublet revealed by multiple pulses in lacustrine seismo-turbidites. *Geology*. 2021

Jurnal Nasional

66. Aribowo S, Muslim D, Winantris, **Natawidjaja DH**, Daryono MR. Sub-segmentasi sesar pada segmen Kumering antara Danau Ranau hingga Lembah Suoh, Lampung Barat. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi (JLBG)* 2017; 8(1): 31–45.
67. **Natawidjaja DH**. Misteri patahan sumber gempa Yogyakarta 2006 (Mystery of earthquake fault of the Yogyakarta 2006 event). *GEO-MAGZ* 2016; 6(2).
68. **Natawidjaja DH**. Siklus mega-tsunami di wilayah Aceh-Andaman dalam konteks sejarah. *RISET* 2015; 25(1): 49–62.
69. **Natawidjaja DH**. Dekade teror gempa di Sumatra. *GEOMAGZ Badan Geologi* 2012; 1(4).

Prosiding Internasional

70. Djarwadi D, **Natawidjaja DH**, Daryono MR. Investigation of active faults surrounding the Tigahaji dam of Indonesia. Twenty-Sixth International Congress on Large Dams. Vienna, Austria: ICOLD; 2018.
71. **Natawidjaja DH**, Daryono MR, Pamumpuni A, Gunawan E, Hidayati S, Irsyam M, dkk., editors. Surface ruptures of the 29 Sep-

- tember 2018 earthquake (Mw7.4) on the Palukoro major strike-slip fault in Central Sulawesi, Indonesia. American Geophysical Union Fall Meeting. Washington DC, USA; 2018.
72. **Natawidjaja DH**, Bachtiar A, Endar B, Subandrio A, Daryono MR. Evidence of large pyramid-like structure predating 10,000-year BP at Mount Padang, West Java, Indonesia: Applications of geological-geophysical methods to explore buried man-made structures. American Geophysical Union Fall Meeting. Proceeding AGU EOS Transaction. Earth and Space Science Open Archive ESSOAr; 2018.
 73. **Natawidjaja DH**. Updating active fault map and slip rates along the Sumatran Fault Zone, Indonesia. Global Colloquium on Geoscience and Engineering LIPI 2017; Jayakarta Hotel, Bandung: Puslit Geoteknologi LIPI; 2017.
 74. **Natawidjaja DH**, Daryono MR. The Lawanopo fault, Central Sulawesi, East Indonesia. Proceeding of the 4th International Symposium of Earthquake and Disaster Mitigation, 11–12 November 2014; AIP Conf. Proc.US; 2014.
 75. Irsyam M, Sengara W, Asrurifak M, Ridwan M, Aldiamar F, Widiyantoro S, Triyoso W, **Natawidjaja DH** dkk. Development of seismic hazard and risk maps for new seismic building and infrastructure codes in Indonesia. The 6th Civil Engineering Conference in Asia Region; 2013; Jakarta: The Asian Civil Engineering Coordinating Council (CECAR).
 76. **Natawidjaja DH**. Evaluasi Bahaya Patahan Aktif, Tsunami, dan Goncangan Gempa. Makalah disampaikan sebagai keynote speaker dalam Seminar dan Pameran HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia) 2008; Jakarta.
 77. Sengara IW, Hendarto, Sumiarta P, **Natawidjaja DH**, Triyoso W. Probabilistic seismic hazard mapping for Sumatra Island International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation 2008; Jakarta.
 78. **Natawidjaja DH**. The past, recent, and future giant earthquakes of the Sumatran megathrust. Program of Asian Academic Sem-

- inar: JASS05 Great Earthquakes in the Plate Subduction; 2–3 April 2005; Nagoya, Japan: Nagoya University.
79. Sieh K, **Natawidjaja DH**, Chlieh M, Galetzka J, Avouac J, Suwargadi BW, dkk. The giant subduction earthquakes of 1797 and 1833, West Sumatra: Characteristic couplets, uncharacteristic slip. American Geophysical Union Fall Meeting; 2004; San Francisco, USA; 2004: T12B-04.
 80. **Natawidjaja DH**, Munasri, Suwargadi BW, Sieh K, Stebbins C. Educating people for future large subduction-zone earthquakes in western Sumatra. American Geophysical Union Fall Meeting; 2004; San Fransisco, USA.
 81. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Galetzka J, Suwargadi BW, Edwards RL, Cheng H. Crustal vertical motions from paleogeodetic data of the Sumatran subduction zone, 1950 to 2003: Steady vs. episodic strain accumulation. American Geophysical Union Fall Meeting; 2004; San Fransisco, USA.
 82. **Natawidjaja DH**. The seismic subduction cycle in Sumatra, Indonesia: Evidence from coral microatolls. Dalam: the IAGA-IAS-PEI International Conference 2003, Hanoi, Vietnam.
 83. Sieh K, **Natawidjaja DH**, The seismic threat posed by faults in Sumatra to Singapore and its neighbors. Eighth East Asia-Pasifik Conference on Structural Engineering & Construction; 2001; Singapore: Nanyang Technological University.
 84. **Natawidjaja DH**, Sieh K, Ward S, Edwards R, Suwargadi B, Galetzka J, editors. Large active faults along the Sumatran plate margin and their seismic threat to Indonesia, Malaysia and Singapore. GEOSEA and -IAGI Annual Conference 2001; Yogyakarta, Indonesia: IAGI; 2001.
 85. Sieh K, **Natawidjaja DH**. Paleogeodetic and paleoseismologic constraints on the earthquake cycle of the Sumatran subduction zone. The HOKUDAN International Symposium and School of Active Faulting 2000; Tokyo, Japan: INQUA (International Union for Quaternary Research).

86. Sieh K, **Natawidjaja DH**, Ward S, Edwards R, Suwargadi B, Zachariasen J. Paleogeodetic and paleoseismologic constraints on the earthquake cycle of the Sumatran subduction zone. Hokudan International Symposium and School on Active Faulting; January 2000; Hokudan, Japan: Letter Press Co. Ltd; 2000.
87. **Natawidjaja DH**, The Great Sumatran Fault, Indonesia. Abstract in Proceeding EOS Transaction, 10 November 1998; American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting; 15–19 December 1998; San Francisco, California, USA; 1998: 79(45).

Prosiding Nasional

88. **Natawidjaja DH**, Sapiie B, Pamumpuni A, Marliyani GI, Daryono M. Baribis-Kendeng Thrust-Fold Zone of Java, Indonesia: New evidences of active back-arc tectonics and their implications to seismic hazards. Joint Convention 2017, HAGI-IA-GI-IAFMI-IATMI (JCM 2017); 25–28 September 2017; Ijen Suites Hotel, Malang; IAGI-HAGI; 2017.
89. **Natawidjaja DH**, Bachtiar A, Endar B, Subandrio A. Archeo-geological and geophysical studies of the Gunung Padang megalith in Cianjur, Indonesia implies lost advanced civilizations in Sundaland before Holocene. GEOSEA XIV Congress and 45th IAGI Annual Convention 2016; 10–13 Oktober 2016; Bandung: IAGI; 2016.
90. **Natawidjaja DH**, Daryono MR. Present-day tectonics and earthquake history of Java, Indonesia. Proceeding Geosea XIV Congress and 45th IAGI Annual Convention 2016 (GIC2016); Trans Luxury Hotel, Bandung; 10–13 Oktober 2016; IAGI; 2016.
91. **Natawidjaja DH**. Evaluasi Bahaya Patahan Aktif, Tsunami, dan Guncangan Gempa. Seminar dan Pameran HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia) di Jakarta, 19–21 Agustus 2008; Jakarta: HAKI; 2008.
92. **Natawidjaja DH**. Earthquake and tsunami sources of Indonesia: Developing research-based disaster mitigation. The International Symposium on Disaster in Indonesia: Problems and Solutions; 26–28 Juli 2007; Padang: Universitas Andalas; 2007.

93. **Natawidjaja DH**, Harjono H. Indonesian tsunami and earthquake's source parameters: How to mitigate effectively and plan EWS. International Seminar on Earthquake and Tsunami Risk and Hazard Management for Resilient Communities; Jakarta: CCOP and Badan Geologi ESDM; 2007.
94. **Natawidjaja DH**, Kumoro Y, Suprijanto J. Gempa bumi tektonik di daerah Bukit Tinggi-Muaralabuh: Hubungan segmentasi sesar aktif dan gempa bumi 1926 & 1943. Bandung: LIPI; 1995. 50–75.
95. **Natawidjaja DH**, Sieh K, editors. Active tectonic processes on the Great Sumatran fault. The Sixth International Congress on Pacific Neogene Stratigraphy and IGCP-355; 1995; Serpong, Jakarta.
96. **Natawidjaja DH**. Quantitative geological assessments of Liwa earthquake 1994. Proceeding of Annual Convention of Indonesian Association of Geophysicists (HAGI) 1994; HAGI; 1994.
97. **Natawidjaja DH**, Kadarusman A. The Structural natures of the pre-tertiary rock complexes of the Sula Islands and their Tectonic significances: A preliminary view. Prosiding PIT IAGI ke-23; 5–8 Desember 1994; Jakarta; 1994.
98. **Natawidjaja DH**. Hubungan kuantitatif-empiris antara rekahan tektonik dengan magnitudo serta reccurrent interval gempa: studi kasus dari gempa bumi Liwa '94 (Relationships between tectonic ruptures and the earthquake's magnitude and recurrent interval). Proceeding of the Annual Convention of the R & D Centre for Geotechnology, Indonesian Institute of Sciences (Puslitbang Geoteknologi-LIPI); 1994; Bandung.
99. **Natawidjaja DH**, Kusumadarma S. Karakterisasi gerakan tanah dan sesar aktif untuk pengembangan daerah Liwa, Lampung Barat, Sumatra (Characterizations of landslides and active faults for the regional development of Liwa areas, Sumatra). Proceedings of the 22th Annual Convention of the Indonesian Association of Geologists (PIT IAGI); 1993; Yogyakarta: IAGI.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

- | | | |
|-------------------------------|---|---|
| 1. Nama | : | Dr. Danny Hilman Natawidjaja,
M.Sc. |
| 3. Tanggal Lahir | : | 11 Desember 1961 |
| 4. Tempat Lahir | : | Subang, Jawa Barat |
| 5. Jenis Kelamin | : | Pria |
| 6. Agama | : | Islam |
| 7. Anak ke- | : | 2 dari 3 bersaudara |
| 8. Nama Ayah Kandung | : | H. Ahmad Rivai Natawidjaja |
| 9. Nama Ibu Kandung | : | Hj. Rd. Suprapti Djajasubrata |
| 10. Nama Istri | : | Fauzana binti Ahmad Akhyar |
| 11. Jumlah Anak | : | 3 |
| 12. Nama Anak | : | 1. Puti Dania
2. Sutan Danian
3. Javan Danian |
| 13. Nama Instansi | : | Puslit Geoteknologi LIPI |
| 14. Judul Orasi | : | Riset Sesar Aktif Indonesia dan
Peranannya dalam Mitigasi Ben-
cana Gempa dan Tsunami |
| 15. Bidang Kepakaran | : | Ilmu Kebumian |
| 16. No.SK Pangkat
Terakhir | : | 54/K Tahun 2017 |
| 17. No. SK Peneliti Utama | : | 1/M Tahun 2017 |

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama	Tempat	Tahun Lulus
1	SD	SD Negeri Cidang-deur	Subang	15-12-1973
2	SLTP	SMP Negeri 7	Bandung	11-12-1976
3	SLTA	SMA Negeri 5	Bandung	07-05-1980
4	S-1	Teknik Geologi ITB	Bandung	23-11-1986
5	S-2 (M.Sc)	Dept. Geology, University of Auckland	New Zealand	18-05-1992
6	S-3 (Ph.D.)	Div. Geology, California Institute of Technology	USA	13-06-2003

C. Pendidikan Nonformal

No.	Pelatihan/Pendidikan	Tempat	Tahun
1	Kursus Seismic Stratigraphy Sequences, Pascasarjana ITB, 2–6 Januari	ITB	1995
2	GSSI-Ground Penetration Radar (GPR) Data Processing Training Course, 18–21 November	Sea & Land PTE Training Center, Singapore	2013
3	GPS-Geodesy Training on Data Processing and Interpretation for Active Faut Studies, 5–12 Mei	EOS– NTU, Singapore	2013

D. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1	Asisten Peneliti Madya	18-03-1993
2	Ajun Peneliti Madya	01-02-1995
3	Peneliti Ahli Muda	30-12-2005
4	Peneliti Ahli Madya	28-03-2014
5	Peneliti Ahli Utama Gol.IV/d	31-08-2016
6	Peneliti Ahli Utama Gol.IV/e	01-08-2019

E. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1	Peneliti utama dan koordinator kerja sama riset tektonik geodesi dengan membangun jaringan kontinu Global Positioning System (GPS) Sumatran GPS Array (SuGAr)	Puslit Geoteknologi dan Tectonic Observatory Caltech (2002–2010), dan Earth Observatory of Singapore (2010–2019)	2002–2019
2	Peneliti Utama dan Riset Koordinator untuk <i>the Sumatran Paleoseismology and Paleogeodesy Project</i>	Puslit Geoteknologi LIPI dan Tectonic Observatory Caltech. Biaya NSF USA	2004–2008
3	Peneliti Utama untuk <i>Crustal Deformations, Earthquake and Tsunami Hazards of The Sumatran Plate Margin Project</i> “	KEMENRISTEK-International Joint Research (RUTI)	2005–2007

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
4	Peneliti utama untuk <i>Collaborative study on Seismicity and deep structure of the Sumatra subduction zone</i> dibiayai Uni-Eropa Consortium	Puslit Geoteknologi untuk kerjasama riset dengan Cambridge, Univ. Liverpool (UK), and GFZ (Germany),	2007–2009
5	Ketua Tim Nasional untuk membuat <i>National Guidelines for Natural Hazard and Risk Analysis</i> (i.e. PARBA = Pedoman Analisis Risiko Bencana Alam)	Program SC-DRR (Safer Community by Disaster Reduction) BNPB - UNDP	2008–2009
6	<i>Team Leader</i> untuk <i>Active fault and Paleoseismology study</i> dalam Kerja Sama Riset Indonesia-Jepang	LIPI untuk Project JICA-JST Japan–Indonesia	2009–2011
7	<i>Founder</i> dan Pengajar Program Pascasarjana untuk studi kegempaan GREAT (Graduate Research on Earthquake and Active Tectonics) di Fakultas Ilmu Kebumian, ITB	Puslit Geoteknologi LIPI dan FIK ITB, dana dari AIFDR (Australian-Indonesia Facility for Disaster Reduction) dan AusAid	2010–2017
8	Anggota Tim Inti dari Tim-9 untuk revisi Peta Seismic Hazard Indonesia	KemenPUPR	2010–2012

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
9	Team Leader untuk <i>Active Fault Study of The Indonesian Seismic Hazard Project</i>	LIPI untuk Program AIFDR - BNPB	2010–2014
10	Koordinator Pene- litian Situs Gunung Padang	SK Gubernur Jawa Barat 430-05/ Kep.1578-Dispar- bud/2013, SK Gub No. 430-05/ Kep.302 Disparbud/2014	2013
11	Wakil Ketua Tim Nasional Pelestarian dan Pengelolaan Situs Gunung Padang	SK Mendikbud No.225/p/2014	2014
12	Ketua <i>Working Group Geologi</i> Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN)	SK.Ka BNPB dan SK. Menteri PUPR	2016–seka- rang
13	Kordinator Kelom- pok Studi Gempa	Ka Puslit Geote- knologi LIPI	2019– sekarang
14	Koordinator dan Peneliti Utama Kerja sama Riset <i>East In- donesia Earthquake and Tsunami Studies</i>	Ka Puslit Geote- knologi LIPI untuk Kerja sama Riset dengan Univ. Brunel, UK dengan Dana dari Royal Society UK - GCRF	2019–2021
15	Anggota Tim untuk <i>Paleoclimate and Paleoseismology Study in Central Sulawesi,</i>	Puslit Geoteknologi LIPI untuk Kerja sama Riset dengan University of Bern, Swiss	2019– sekarang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

F. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
1	The First IAGA-IASPEI Joint Scientific Assembly. Vietnam, 19–31 Agustus 2001	Pembicara dan peserta	IAGA-IASPEI	2001
2	30 th Annual Conference 10 th Regional Congress IAGI-GEOSEA, 10–11 September 2001	Pembicara dan peserta	IAGI- GEOSEA	2001
3	Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI, November	Pembicara	IAGI	2004
4	International Conference AGU Fall Meeting, San Fransisco, USA, December	Pembicara	AGU	2004
5	Meeting of Indonesian Scientists 21 st Century Towards Bright and Brilliant Indonesia, Indonesian Science Year celebration	Invited Speaker	LIPI Press, Jakarta	2005

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
6	Asian Academic Seminar "JASS05 Great Earthquakes in the Plate Subduction", Sponsors: Nagoya, Japan, 27 September–4 Oktober 2005	Invited lecture and Lecture notes	Nagoya University and the JSPS,	2005
7	Workshop on Earthquake and tsunami Hazards. IAGI, Bandung, Direktorat Geologi, 22 Maret	Pembicara	IAGI dan Badan Geologi	2005
8	The Sumatran earthquake of 2004 & 2005: What's in the past, what's next, and what's can be done. IA-GI-HAGI Meeting, Lampung, 5 Juli	Invited speaker	IAGI dan HAGI	2005
9	Understanding the Sumatran Earthquakes and Tsunamies in <i>International Workshop for Outreach Education and Scientific Exhibition</i> , Jakarta, Agustus	Keynote speaker	PPIPTEK dan BPPT	2005

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
10	Perkembangan IPTEK Gempa dan Penelitian Gempa di Indonesia. Dalam <i>Indonesian Science Year and 100 Years of Einstein Theory, Theme Toward Bright and Brilliant Indonesia</i> , Jakarta, Agustus	Keynote Speaker	LIPI	2005
11	Meeting of Indonesia Scientists in the 21st Century” Toward the Bright and Brilliant Indonesia”, 18–19 November, Jakarta.	Invited Speaker.	LIPI	2005
12	The Memorial Conference on the 2004 Giant earthquake and Tsunami in the Indian Ocean, Sponsor: and Disaster Prevention, Japan. 14–15 Desember.	Invited Speaker	Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo, JSPS and NRIE	2005

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
13	Workshop on Architecture, earthquakes and tsunamis—Trilateral investigations of the Sunda Arc Subduction system by Indonesia, Japan and Germany. 29–30 Maret, Nagasaki, Japan,	Invited speaker	BMR-Germany and ERI Japan,	2006
14	The 3 rd International Symposium on Earth Resources and Geological Engineering Education. 3–4 Agustus	Speaker:	Univ. Gajah Mada, Yogyakarta	2006
15	Studium Generale 2006 “ Peran Geologi Dalam Perencanaan dan Pembangunan Indonesia”, Jatinangor, 11 September	Invited Lecture	UNPAD-Dept. Geologi	2006
16	Seminar Mitigasi Bencana Geologi, Bandung, 23 Mei	Invited Speaker..	Badan Geologi	2007

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
17	International Seminar on Earthquake and Tsunami Risk and Hazard Management for Resilient Communities, 2–3 April 2007, Jakarta.	Invited Speaker	CCOP dan Badan Geologi	2007
18	American Geo-physical Union (AGU) Fall Meeting, San Fransisco, USA, Decmber,	Pembicara	AGU	2007
19	The International Symposium on the Restoration Program from Giant Earthquakes and Tsunamis, Phuket Thailand, 22–24 Januari 2008	Invited speaker	JSPS - Japan	2008
20	Seminar dan Pameran HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia) di Jakarta, 19–21 Agustus	Keynote Speaker	HAKI	2008

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
21	International Workshop on Post-tsunami Soil Management, Bogor, 1–2 Juli	Keynote Speaker	BPN	2008
22	Temu Ilmiah Peneliti Muda: Tantangan untuk peneliti muda”. Jakarta, 6 Agustus	Pembicara	LIPI	2008
23	International Workshop on Official tsunami hazard map in Padang and International Seminar on earthquake and Tsunami, 25–26 Agustus	Invited Speaker	Universitas Andalas, dan Japan Society of Civil Engineers	2008
24	International Conference: General Assembly 2009 of the European Geoscience Union, VIENNA, Austria 19–24 April	Pembicara dan Peserta	European Geoscience Union (EGU)	2009

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
25	Annual International Meeting of AOGS (Asia Oceania Geosciences Society, SUNTEC, Singapore 11–15 Agustus	Pembicara dan Peserta	AOGS	2009
26	International Workshop on Global Earthquake Model (GEM) Regional Initiative, NTU, Singapore, Mei	Pembicara	Nyanjang Technological University and GEM	2010
27	Konferensi International Budaya Gunung Berapi “Living with Vulcano” Yogyakarta, 8–12 Desember	Invited Speaker: Konsep Bencana Katastrofi-Kemusnahaan Peradaban	Dinas Kebudayaan, PEMDA Yogyakarta	2012
28	International Conference on Building Global Resilience to Natural Hazards: Translating sciences into action, Wilton Park, United Kingdom, 28–30 Januari	Invited Speaker	Foreign and Commonwealth Office UK and Wilton Park	2013

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
29	ASEAN Capacity Building Forum on Risk Assesment: “Bridging Science and Practice in Disaster Risk Management Toward Community Resilience, 19 Maret 2013, Bangkok, Thailand.	Invited Speaker	ASEAN UNISDR	2013
30	International Conference American Geophysical Union Fall Meeting, 9–13 Desember di San Fransisco, USA.	Pembicara dan Peserta	AGU	2013
31	International Conference “Gotrasawala” tanggal 6 Desember 2013 di Hotel Homman dan Gedung Merdeka. Presenting: “Solving Mistery in Gunung Padang: The Great Ancient Architecture from the lost ancient civilization”	Keynote Speaker	Pemerintah Provinsi Jawa Barat	2013

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
32	Seminar Pendidikan dan Mitigasi Bencana serta hasil Penelitian di Gunung Padang. Seminar Terbatas di Istana Negara dihadiri Presiden RI beserta jajaran Menteri. 18 Mei	Pembicara	Kantor Presiden RI dan SET-NEG	2013
33	International Symposium “World Culture Forum”, DenPasar, Bali, November	Invited Speaker	KEMENDIK-BUD	2013
34	The 4th International Symposium on Earthquake and Disaster Mitigation, Bandung 11–12 November	Invited Speaker	Program GREAT ITB	2014
35	International Conference on Tsunami warning and mitigation system after the Indian Ocean Tsunami- Achievements, Challenges, Remaining Gaps and Policy Perspectives”.	Invited Speaker di Auditorium BMKG Pusat Jakarta, 24 November	IOC- UNESCO dan BMKG	2014

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
36	International Seminar to Commemorate the 10th Anniversary of The Indian Ocean Tsunami. Jakarta	Invited Speaker	Kementerian Kelautan dan Perikanan	2014
37	International Seminar on Sundaland Resources, Palembang, 17 November.	Keynote Speaker	IAGI-MGEI	2014
38	American Geophysical Union Fall Meeting, 9–13 Desember di San Francisco, USA.	Pembicara dan Peserta	AGU	2014
39	Workshop on International Ocean Discovery Program (IODP)-362: Sumatra Seismogenesis, Jakarta, 27 Mei	Keynote speaker di Auditorium BPPT,	BPPT and IODP Program	2015
40	International Conference “BE-YOND ASEAN (Be a Young Hero on Disasters-ASEAN), 5 Juni	Keynote Speaker di Auditorium UNPAD	East-West Center USA dan UNPAD	2015

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
41	AOGS (Asia-Oceania Geoscience Society) 12th Annual Meeting di SUNTEC SINGAPORE, 6 Agustus	Giving Distinguished Lecture	AOGS	2015
42	The 5 th International Symposium on Earth-hazard and Disaster Mitigation (ISEDM), 19–20 Oktober. Bandung	Invited Speaker	Program GREAT ITB	2015
43	The 3rd International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation”, Nusadua, Bali.	Invited Speaker	IEEA, Universitas Udayana, dn Puskim PU	2016
44	GEOSEA XIV Congress and 45th IAGI Annual Convention 2016, 10–13 Oktober , Bandung	Pembicara	IAGI dan GEOSEA	2016
45	Joint Convention HAGI-IA-GI-IAFMI- IATMI (JCM 2017), Malang, 25–28 September.	Pembicara	HAGI, IAGI, IAFMI, IATMI	2017

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
46	Global Qolloqium on GeoSciences and Resources Engineering, Bandung	Pembicara	Puslit Geoteknologi LIPI	2017
47	The 7 th ISEDM, 21 November, Bandung	Invited Speaker	FITB ITB	2017
49	The47th IAGI Annual Convention, Pekan Baru, 29 Oktober–1 November.	Invited Speaker	IAGI	2018
50	Int.Conf. AGU Fall Meeting, Washington DC, USA. 100yr Anniversary	Speaker	AGU	2018
52	16 th Annual Meeting AOGS, 28 Juli–2 Agustus, SUNTEC, Singapore	Speaker	AOGS	2019
53	Lokakarya Kesadaran Nasional Peduli Gempa dan Gunung Api, PerNas Jakarta, 18 Juli	Invited Speaker	KemenPUPR dan AIPI	2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara	Tahun
54	Seminar GS-SI-GPR Indonesia User Conference (GIUC), Bandung, 8–9 Oktober	Invited Speaker	GSSI dan Badan Geologi	2019

G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Jurnal	Penerbit	Peran	Tahun
1	Journal of Geological Society	The Geological Society, UK	Reviewer	2017
2	Tectonophysics	Elsevier	Reviewer	2018
3	Journal of Asian Earthsciences	Elsevier	Reviewer	2018
4	Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi	Badan Geologi	Reviewer	2016, 2018

H. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1	Penulis Tunggal	18
2	Bersama Penulis Lain	62
	Total	80

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1	Bahasa Indonesia	14
2	Bahasa Inggris	66
3	Bahasa lainnya	0
	Total	80

I. Indeks Prestasi Ilmiah

No.	Tolok Ukur	Citation Index	h-index	Tanggal
1	Google Scholar	5879	34	13-04-2021
2	SCOPUS	3875	29	13-04-2021

J. Pembimbingan Mahasiswa

No.	Nama Mahasiswa	Program	Institusi	Tahun Lulus
1	Yudhicara	S3	Teknik Geologi UNPAD	2018
2	Astyko Pamumpuni	S3	Geologi ITB	2017
3	Rahmat Indrajati	S2	Teknik Geologi ITB	2017
4	Mudrik R. Daryono	S3	GREAT-FIK ITB	2016
5	Didiek Wahyu Wijaya	S2	GREAT-FIK ITB	2012
6	Didiek Sugiyanto	S3	GREAT-FIK ITB	2012

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Organisasi	Tahun
1	Anggota	IAGI	Sejak 1985
2	Anggota	HAGI	Sejak 1988
3	Anggota	AGU	Sejak 1999
4	Anggota	AOGS	Sejak 2009
5	Anggota	IATsI	Sejak 2012

L. Tanda Penghargaan

No.	Penghargaan	Pemberi	Tahun
1	<i>Ahmad Bakrie Award for Science</i>	Yayasan Ahmad Bakrie, Indonesia	2016
2	<i>IAGI Award (for the continuity of developing applied geology)</i>	Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI)	2015
3	<i>Science Award-Tropi Manusia Bintang</i>	Kantor Berita Rakyat Merdeka Online	2014
4	<i>Sarwono Prawirohardjo Award</i>	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)	2005
5	Lulusan Sarjana Terbaik Se-Fakultas Teknologi Mineral, ITB	Institut Teknologi Bandung (ITB)	1986

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



LIPPI Press

Gedung PDDI LIPPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp. (+62 21) 573 3465
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id

ISBN 978-602-496-235-7

A standard linear barcode representing the ISBN number 978-602-496-235-7.