



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Andri Dian Nugraha

**SEISMOLOGI DAN TOMOGRAFI SEISMIC
UNTUK MEMAHAMI
STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DI ZONA TEKTONIK AKTIF DAN GUNUNGAPI**

11 Desember 2021
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
11 Desember 2021

Profesor Andri Dian Nugraha

**SEISMOLOGI DAN TOMOGRAFI SEISMIK
UNTUK MEMAHAMI
STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DI ZONA TEKTONIK AKTIF DAN GUNUNGAPI**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: SEISMOLOGI DAN TOMOGRAFI SEISMIC UNTUK MEMAHAMI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DI ZONA TEKTONIK AKTIF DAN GUNUNGAPI

Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB, tanggal 11 Desember 2021.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak Cipta ada pada penulis

Andri Dian Nugraha

SEISMOLOGI DAN TOMOGRAFI SEISMIC UNTUK MEMAHAMI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DI ZONA TEKTONIK AKTIF DAN GUNUNGAPI

Disunting oleh Andri Dian Nugraha

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2021

vi+68 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-6624-52-9

1. Geofisika Global 1. Andri Dian Nugraha

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, bahwasanya atas berkat dan rahmatNya, saya dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, atas perkenannya saya menyampaikan orasi ilmiah ini pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar. Kami haturkan penghormatan yang tinggi untuk seluruh rekan-rekan dosen di lingkungan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Insitut Teknologi Bandung. Demikian juga rekan-rekan dosen di KK Geofisika Global, Laboatorium Vulkanologi dan Panas Bumi FTTM, Sains Kebumian FITB dan PUI Sains & Teknologi Kegempaan atas kerja sama, kebersamaan dan sinergi dalam melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi dengan baik dan tak kenal lelah. Terakhir saya haturkan terima kasih untuk keluarga kecil kami tercinta di rumah, Erlis Dini, Izmi dan Alma untuk doa, dukungan, canda tawa dan kesabarannya serta orang tua kami dan keluarga besar di Ciamis dan Tasikmalaya.

Bandung, 11 Desember 2021

Prof. Dr. Andri Dian Nugraha, S.Si., M.Si

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. TUJUAN	6
3. KEADAAN TEKTONIK DAN KEGEMPAAN DI WILAYAH INDONESIA	7
4. RELOKASI HIPOSENTER DI ZONA BUSUR SUNDA MENGUNAKAN MODEL KECEPATAN SEISMIC 3-D	9
5. OBSERVASI SEISMOLOGI UNTUK IDENTIFIKASI SESAR AKTIF: ZONA SUMBER GEMPA LOMBOK, INDONESIA 2018 ..	12
6. TOMOGRAFI SEISMIC WAKTU TEMPUH DI ZONA SESAR AKTIF: ZONA SUMBER GEMPA LOMBOK 2018	18
7. TOMOGRAFI SEISMIC WAKTU TEMPUH DI ZONA SESAR AKTIF: ZONA SUMBER GEMPA AMBON 2019	22
8. TOMOGRAFI SEISMIC WAKTU TEMPUH DI ZONA GUNUNGAPI AKTIF: ZONA GUNUNGAPI SINABUNG	26
9. PENUTUP	31
10. UCAPAN TERIMA KASIH	33
DAFTAR PUSTAKA	36
CURRICULUM VITAE	49

SEISMOLOGI DAN TOMOGRAFI SEISMIK UNTUK MEMAHAMI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DI ZONA TEKTONIK AKTIF DAN GUNUNGAPI

1. PENDAHULUAN

Proses-proses geologi dan tektonik yang ada di permukaan bumi sangat dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi di interior bumi yang terdiri atas lapisan kerak, mantel, dan inti bumi. Oleh karena itu, pemahaman mengenai struktur seismik bawah permukaan bumi sangat penting untuk keperluan mitigasi bencana gempa dan gunungapi, eksplorasi geotermal, dan minyak/gas. Wilayah kepulauan Indonesia terletak pada salah satu zona tektonik dan geologi yang paling aktif kompleks di dunia. Hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh beberapa lempeng utama tektonik yang bergerak relatif satu sama lain seperti lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Filipina. Sebagai implikasi dari proses tersebut, di wilayah kepulauan Indonesia banyak terjadi gempa yang merusak dan terdapat jajaran gunungapi aktif. Proses geologi dan tektonik yang aktif tersebut juga menghasilkan sumber daya alam yang bisa dimanfaatkan untuk kesejahteraan manusia seperti geotermal, minyak/gas, dan sumber daya mineral. Pada studi ini, penulis telah mengaplikasikan dan mengembangkan ilmu seismologi dan tomografi seismik untuk mencitrakan struktur fisis bawah permukaan. Seismologi merupakan

ilmu yang mempelajari pembangkitan, propagasi dan perekaman gelombang elastik yang melewati interior bumi. Aplikasi dan pengembangan ilmu seismologi untuk kehidupan manusia yaitu (i) mempelajari fenomena gempa, gunungapi dan tsunami; (ii) eksplorasi sumber daya (minyak & gas, geotermal dan lain-lain) dan (iii) melakukan kontrol uji coba senjata nuklir. Studi seismologi gempa dan gunungapi yang telah penulis dan tim peneliti lakukan di wilayah Indonesia meliputi relokasi hiposenter gempa menggunakan model kecepatan seismik 3-D di Busur Sunda, Indonesia (Nugraha dkk., 2018), analisis hiposenter dan magnitudo gempa susulan di zona sumber rangkaian gempa Lombok 2018 (Sasmi dkk., 2020), seismisitas di zona Indonesia timur terutama di zona sumber gempa Lombok 2018 dan gempa Palu 2018 (Supendi dkk., 2020a), analisis rangkaian *foreshock-mainshock-aftershock* di zona sumber gempa Mamuju-Majene, Sulawesi Barat 2021 (Supendi dkk., 2021), seismisitas di zona sumber gempa Pidie Jaya, Aceh 2016 (Muzli dkk., 2018), identifikasi sesar aktif di Jawa Barat berdasarkan relokasi hiposenter dan mekanisme fokus gempa (Supendi dkk., 2018), mekanisme sumber dan gempa susulan dari gempa Ambon 2019 (Sahara dkk., 2021a), analisis zona seismogenik dari estimasi termal di zona sesar naik Flores (Lythgoe dkk., 2021), perubahan *Static Coulomb Failure Stress* di zona sumber gempa Pidie Jaya, Aceh 2016 (Kusumawati dkk., 2021), implikasi gempa *megathrust* dan tsunami dari zona *gap* seismik di selatan Jawa, Indonesia (Widiyantoro dkk., 2020), analisis gempa *swarm* di

sekitar gunung Agung, Bali sebelum erupsi Nopember 2017 menggunakan jaringan stasiun BMKG (Gunawan dkk., 2020), model sumber untuk tsunami di teluk Palu dari gempa Palu 2018 (Gusman dkk., 2019), relokasi hiposenter gempa susulan dari gempa Palu 2018 dan gempa *swarm* Mamasa, Sulawesi Tengah, Indonesia (Supendi dkk., 2019), analisis gempa vulkanik-tektonik (VT) sebelum erupsi gunung Agung 2017 (Sahara dkk., 2021b) dan lain-lain.

Pencitraan tomografi adalah suatu rekonstruksi sebuah benda dari observasi besaran fisis yang merepresentasikan efek penjalaran suatu bentuk radiasi melalui benda yang diamati tersebut. Pada awalnya, teknik tomografi ini berkembang di dunia kedokteran untuk mencitrakan struktur tubuh manusia. Selanjutnya, para ahli seismologi/ahli kebumihan mengembangkan teknik tersebut untuk mencitrakan struktur interior bumi yang kemudian disebut dengan teknik pencitraan tomografi seismik. Tomografi seismik waktu tempuh merupakan suatu metode untuk mencitrakan struktur interior bumi dengan memanfaatkan sumber gelombang seismik (gelombang P dan S serta fase gelombang lainnya) baik dari sumber alami seperti gempa maupun buatan seperti dinamit atau ledakan yang terekam oleh stasiun seismograf. Studi tomografi seismik waktu tempuh di zona tektonik aktif dan gunungapi yang telah penulis dan tim peneliti lakukan di wilayah Indonesia meliputi delineasi geometri dan struktur seismik bawah permukaan sesar aktif di zona sumber gempa Ambon 2019 (Nugraha dkk., 2021), penentuan struktur 3-D

Vp, Vs dan rasio Vp/Vs dan relokasi hiposenter gempa VT untuk data periode Nopember-Desember 2013 di zona gunung Sinabung (Nugraha dkk., 2019), tomografi seismik 3-D gunung Sinabung untuk periode *inter-eruptive* Oktober 2010 – Juli 2013 (Indrastuti dkk., 2019), pencitraan struktur seismik di zona gunung Agung menggunakan tomografi gempa VT (Ardianto dkk., 2021), tomografi di zona sumber gempa Lombok 2018 menggunakan jaringan seismograf lokal (Afif dkk., 2021), tomografi gempa lokasi di zona transisi Busur Sunda-Banda, Indonesia (Supendi dkk., 2020b), tomografi waktu tempuh untuk delineasi struktur kecepatan seismik 3-D di cekungan Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia (Hidayat dkk., 2021), pencitraan struktur kecepatan seismik di gunungapi Merapi, menggunakan tomografi lokal (Ramdhan dkk., 2019), tomografi *double-difference* struktur Vp dan Vs di Jawa bagian Barat (Rosalia dkk., 2019), pencitraan struktur seismik dan petrologi menjelaskan erupsi *explosive* gunung Merapi (Widiyantoro dkk., 2018), penentuan hiposenter dan struktur kecepatan seismik di gunung Guntur untuk data 2010-2014 (Basuki dkk., 2019), stuktur kecepatan seismik di zona gunung Guntur menggunakan inversi simultan tomografi dan relokasi hiposenter (Nugraha dkk., 2013) dan lain lain. Rekaman seismogram dari fase gelombang P dan S yang diradiasikan oleh kejadian gempa juga digunakan untuk menentukan parameter fisis lainnya yaitu struktur atenuasi seismik ($1/Q$) dengan menggunakan metode tomografi atenuasi seismik seperti yang telah diaplikasikan di zona sumber gempa Lombok

2018 (Priyono dkk., 2021). Selain pemanfaatan sinyal dari rekaman seismogram, *noise* dari rekaman seismogram juga digunakan untuk penentuan struktur seismik terutama struktur Vs pada lapisan kerak dangkal dengan metode tomografi *ambient seismic noise* menggunakan korelasi silang dari *noise* yang secara simultan terekam pada suatu pasangan stasiun seismik untuk menentukan fungsi Green's dari gelombang Rayleigh. Berikut beberapa studi tomografi *ambient seismic noise* yang telah dilakukan oleh tim peneliti di wilayah Indonesia yaitu penentuan struktur Vs lapisan kerak bagian atas di Jawa Tengah, Indonesia (Zulfakriza dkk., 2014), penentuan kecepatan grup dengan metode tomografi *ambient noise* di zona Jawa bagian Barat, Indonesia (Rosalia dkk., 2020), tomografi *ambient noise* di zona gunung Agung dan gunung Batur, Bali (Zulfakriza dkk., 2020), pencitraan sistem magma gunung Merapi, Indonesia, menggunakan tomografi *ambient seismic noise* (Yudistira dkk., 2021), delineasi struktur Vs di zona sumber gempa Lombok 2018 (Sarjan dkk., 2021), delineasi struktur sedimen di cekungan Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia (Setiawan dkk., 2021) dan lain-lain. Penulis telah melakukan studi tomografi seismik sejak tahun 2006 di luar wilayah Indonesia yaitu di wilayah Jepang, dimana mempunyai keadaan geologi dan tektonik yang sama aktifnya di dunia. Struktur seismik (kecepatan seismik, atenuasi seismik dan termal) dan geometri zona subduksi di bawah barat-daya Jepang serta hubungannya dengan lokasi hiposenter gempa *low-frequency* (atau *non-volcanic tremor*) dan jajaran

gunungapi aktif telah berhasil dicitrakan dengan baik (Nugraha & Mori, 2006; Nugraha dkk., 2010), dimana informasi tersebut sangat penting usaha mitigasi bencana gempa.

2. TUJUAN

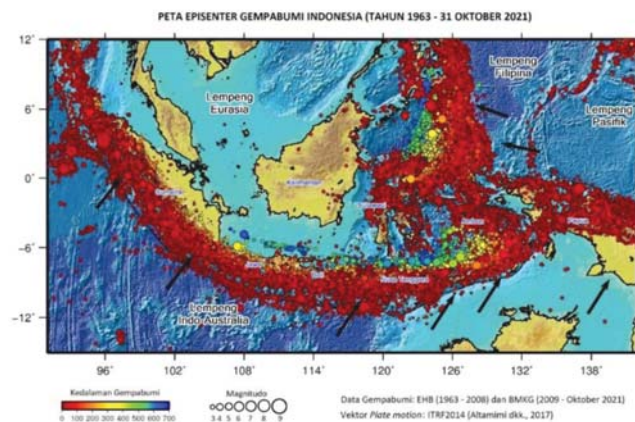
Pemanfaatan dan aplikasi ilmu seismologi dan tomografi seismik dengan menggunakan waktu tiba gelombang seismik (gelombang P dan S) dan rekaman seismogram yang dilakukan pada studi ini bertujuan untuk:

- a. melakukan analisis seismisitas melalui penentuan lokasi hiposenter gempa secara akurat dan presisi di zona tektonik (zona subduksi dan zona sesar aktif) dan zona gunungapi aktif untuk keperluan mitigasi gempa dan letusan gunungapi serta sebagai dasar untuk studi kegempaan lainnya;
- b. pembuatan data katalog gempa yang selalu diperbaharui sebagai salah satu parameter *input* untuk studi kegempaan lanjut dan untuk pemutakhiran Peta Sumber dan Bahaya Gempa di Indonesia;
- c. penentuan struktur 3-D kecepatan seismik (V_p , V_s & rasio V_p/V_s) dan struktur 3-D atenuasi seismik ($1/Q_p$, $1/Q_s$ & rasio Q_p/Q_s) serta struktur termal di zona subduksi, zona sesar aktif dan zona gunungapi aktif untuk memahami struktur seismik dan geometri bawah permukaan sebagai usaha untuk mitigasi bencana gempa dan letusan gunungapi.

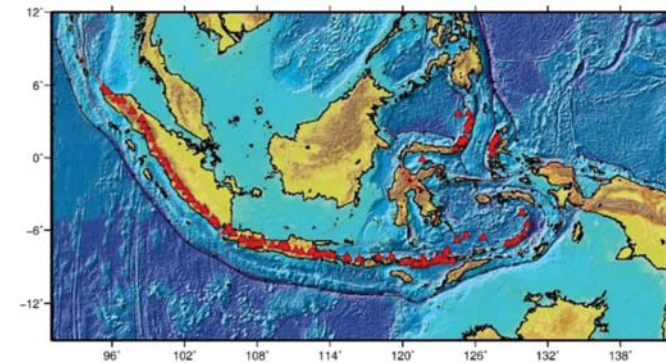
3. KEADAAN TEKTONIK DAN KEGEMPAAN DI WILAYAH INDONESIA

Wilayah Indonesia mempunyai tingkat aktifitas tektonik dan kegempaan yang sangat aktif karena merupakan pertemuan dari empat lempeng tektonik utama di dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Filipina (Gambar 1). Sebagai implikasi dari proses tektonik tersebut yaitu tingkat kegempaan yang aktif dan sering terjadi gempa besar yang merusak dan bahkan membangkitkan tsunami yang menimbulkan kerugian materil dan korban jiwa seperti gempa Sumatera-Andaman atau gempa yang terjadi di Samudera Hindia tahun 2004 (Mw 9.1), gempa di Nias tahun 2005 (Mw 8.6), gempa selatan Jawa Barat tahun 2006 (Mw 7.7), gempa di Bengkulu tahun 2007 (Mw 8.4), gempa Mentawai tahun 2010 (Mw 7.8), gempa di Samudera Hindia tahun 2012 (Mw 8.6 dan Mw 8.2), gempa Pidie Jaya, Aceh tahun 2016 (Mw 6.5), rangkaian gempa Lombok tahun 2018 (Mw 6.4, Mw 7, Mw 6.3 dan Mw 6.9), gempa Palu tahun 2018 (Mw 7.5) dan gempa Ambon tahun 2019 (Mw 6.5) serta terdapatnya jajaran gunungapi aktif mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Laut Banda, Maluku, sampai ke Sulawesi Utara (Gambar 2). Berdasarkan tingkat seismisitasnya, tektonik wilayah Indonesia dibagi menjadi beberapa segmen utama yaitu Busur Sunda, zona Busur Banda, dan zona tumbukan Laut Maluku. Busur Sunda merupakan batas tektonik aktif tempat lempeng Indo-Australia menghunjam di bawah lempeng Eurasia dengan

kecepatan 7 cm/tahun. Busur Sunda bagian barat dan bagian timur dibatasi oleh Selat Sunda tempat terjadinya perubahan arah *trench* dan adanya robekan *slab* yang dicitrakan oleh hasil studi tomografi. Pada zona Busur Banda, terjadi tumbukan antara kontinen Australia dengan busur kepulauan Banda yang membentuk morfologi kurvatur seperti sendok. Zona tumbukan laut Maluku juga merupakan fitur tektonik yang unik dengan lempeng laut Maluku menghujam ke barat di bawah busur Sangihe dan ke timur di bawah busur Halmahera (Widiyantoro dan Hilst, 1997).



Gambar 1. Peta distribusi episenter gempa di wilayah Indonesia dengan magnitudo = 3, dari data katalog gempa ISC-EHB untuk periode tahun 1963-2008 (Engdahl dkk., 2020) dan data katalog gempa BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) untuk periode tahun 2009 s.d Oktober 2021 (http://repogempa.bmkg.go.id/repo_new/). Tanda panah hitam merupakan arah vektor pergerakan relatif lempeng tektonik dari ITRF2014 (Altamimi dkk., 2017).



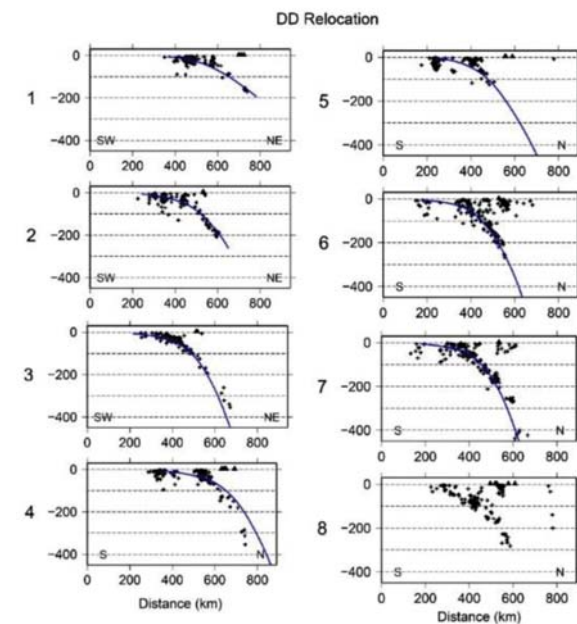
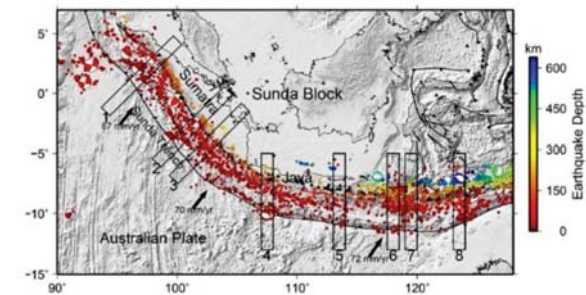
Gambar 2. Peta distribusi 127 gunungapi aktif (segi tiga merah) di wilayah Indonesia dari PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi) (<https://magma.esdm.go.id/v1/edukasi/tipe-gunung-api-di-indonesia-a-b-dan-c>)

4. RELOKASI HIPOSENTER DI ZONA BUSUR SUNDA MENGGUNAKAN MODEL KECEPATAN SEISMİK 3-D

Busur Sunda terletak di zona tektonik kompleks di bagian tenggara dari lempeng tektonik Eurasia. Busur Sunda terbentang sepanjang kurang lebih 5600 km yang meliputi Sumatera, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara (Newcomb dan McCann, 1987). Tatanan tektonik zona busur Sunda dipengaruhi oleh pertemuan antara lempeng tektonik Indo-Australia dan lempeng tektonik Indo-Australia yang menyebabkan keadaan geologi dan dinamika tektonik yang aktif dan kompleks. Implikasi dari keadaan tektonik tersebut, zona busur Sunda merupakan salah satu zona di dunia yang mempunyai tingkat seismisitas yang tinggi. Berkut gempa kuat, merusak dan beberapa membangkitkan tsunami terjadi di zona ini yaitu

gempa Sumatera-Andaman tahun 2004 (Mw 9,1), gempa Nias tahun 2006 (Mw 8,6), gempa selatan Jawa Barat tahun 2006 (Mw 7,7) & tahun 2009 (Mw 7), gempa Padang tahun 2010 (Mw 7,6) dan gempa Mentawai tahun 2010 (Mw 7,8). Analisis kegempaan di zona memerlukan data lokasi hiposenter yang akurat yang bisa digunakan untuk identifikasi zona sesar secara detail, analisis statistik waktu dan ruang distribusi gempa dan studi tomografi dimana pada akhirnya untuk membantu dan mendukung usaha mitigasi bencana gempa. Pada studi ini (Nugraha dkk., 2018), kami melakukan relokasi (pemutakhiran) hiposenter dengan menggunakan metode *telescismic double-difference* (teletomoDD) yang merupakan pengembangan dari metode *double-difference tomography* (Zhang & Thurber, 2003) ke jarak teleseismik (Pesicek dkk., 2010).

Kami menggunakan data katalog gempa dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) untuk periode waktu April 2009 s.d Nopember 2015 dan data katalog gempa dari *International Seismological Centre* (ISC) dimana ada 436 stasiun seismograf untuk jarak lokal, regional dan teleseismik. Total jumlah kejadian gempa yang digunakan untuk proses relokasi hiposenter yaitu 7539 (dimana 6111 berhasil direlokasi). Waktu tempuh dari sumber gempa ke stasiun penerima diestimasi melalui model kecepatan seismik 3-D untuk wilayah Indonesia (Widiyantoro & van der Hilst, 1996, 1997) dan model kecepatan seismik 1-D ak 135 (Kennet dkk., 1995) untuk wilayah di luar Indonesia. Secara umum, hasil dari studi ini menunjukkan pengurangan waktu tempuh

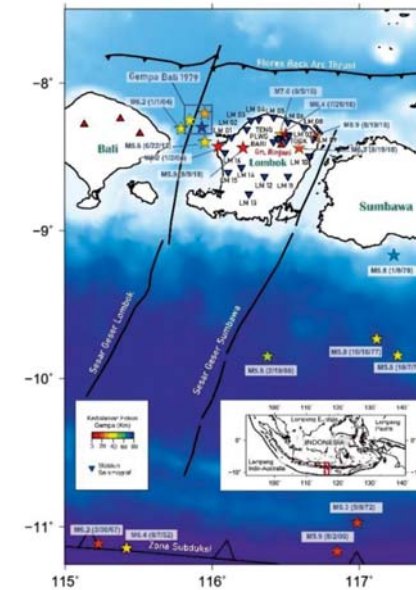


Gambar 3. (atas) Distribusi gempa hasil relokasi dengan magnitudo ≥ 4 dan (bawah) penampang vertikal yang melewati area Sumatera (1, 2, dan 3), area Jawa (4 dan 5), dan area Nusa Tenggara (6, 7 dan 8) diperoleh dari studi ini (Nugraha dkk., 2018). Mekanisme fokus gempa dari Global Centroid Moment Tensor (CMT) (Dziewonksi dkk., 1981; Ekström dkk., 2012). Vektor pergerakan lempeng tektonik dimana busur Sunda sebagai referensi diambil dari model Nuvel 1.0 (Demets dkk., 1994).

dibandingkan dengan model lokasi hiposenter awal. Hasil relokasi hiposenter menunjukkan geometri yang lebih jelas dari slab yang tersubduksi dan sesar aktif seperti di zona Mentawai *back thrust* dan di zona *outer rise* subduksi di selatan Jawa (Gambar 3). Hasil studi ini memberikan informasi tambahan proses seismotektonik dan mendukung usaha mitigasi bencana gempa di Indonesia.

5. OBSERVASI SEISMOLOGI UNTUK IDENTIFIKASI SESAR AKTIF: ZONA SUMBER GEMPA LOMBOK, INDONESIA 2018

Pulau Lombok dipengaruhi keadaan tektonik dan geologi yang aktif dan kompleks dimana adanya subduksi lempeng Australia ke arah utara dan sistem Flores *back arc thrust fault* yang mempunyai kemiringan ke selatan serta mempunyai arah hamper barat-timur (Silver dkk., 1986) serta diapit oleh dua sistem sesar *strike-slip* yaitu sesar geser Selat Lombok di bagian barat dan sesar geser selat Sumbawa di sebelah timur (Irsyam dkk., 2017) (Gambar 4). Gunungapi Rinjani juga berlokasi di Pula Lombok, dimana mempunyai sejarah erupsi gunungapi yang terjadi pada tahun 1257 dengan estimasi kekuatan letusan skala 7 VEI (Volcanic Explosivity Index) (Global Volcanism Program 2013). Pada tahun 2018, beberapa gempa kuat dan merusak terjadi di Pulau Lombok, Indonesia. Rangkaian gempa kuat tersebut dimulai pada 29 Juli 2018 (M 6.4), 5 Agustus 2018 (M 7), 9 Agustus 2018 (M 5.9), dan 19 Agustus 2018 (M 6.3 dan M 6.9) seperti ditunjukkan pada Gambar 4. BMKG menginformasikan lokasi hiposenter

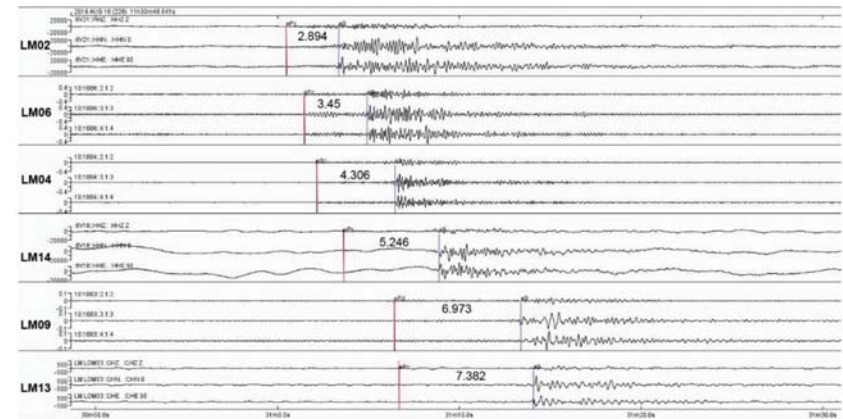


Gambar 4. Peta area studi di zona sumber rangkaian gempa Lombok 2018 dan sejarah seismisitas di Pulau Lombok dan sekitarnya (Sasmi dkk., 2020). Segi tiga biru terbalik merupakan stasiun seismograf yang digunakan pada studi ini. Garis hitam menggambarkan lokasi sesar aktif dari Irsyam dkk. (2017). Gambar bintang berwarna (sesuai kedalaman fokus gempa) merupakan gempa signifikan pada periode waktu tahun 1979 s.d 2013 dari Supartoyo dkk. (2014) dan BMKG (2019) serta gempa-gempa signifikan yang terjadi pada tahun 2018 dari BMKG (2019).

gempa di utara Pulau Lombok dan di sebelah selatan dari sesar naik belakang busur Flores. Beberapa hari setelah gempa pertama, pada tanggal 2 Agustus 2018 tim peneliti dari ITB, the Earth Observatory of Singapore/Nanyang Technological University, BMKG dan PVMBG melakukan pemasangan seismograf temporer sebanyak 20 unit di zona

sumber gempa Lombok tahun 2018 (Gambar 4). Penempatan lokasi stasiun seismograf disesuaikan dengan keadaan dan kondisi yang bisa diakses pada saat itu. Alat seismograf melakukan proses rekaman gelombang gempa sampai pada tanggal 9 September 2018. Tujuan dari pemasangan alat ini yaitu untuk merekam gempa dan menentukan lokasi hiposenter gempa untuk keperluan mitigasi bencana gempa dan data dasar untuk studi kegempaan lanjutan seperti untuk penentuan struktur seismik 3-D bawah permukaan dan analisis mekanisme sumber gempa (Sasmi dkk., 2020; Afif dkk., 2021).

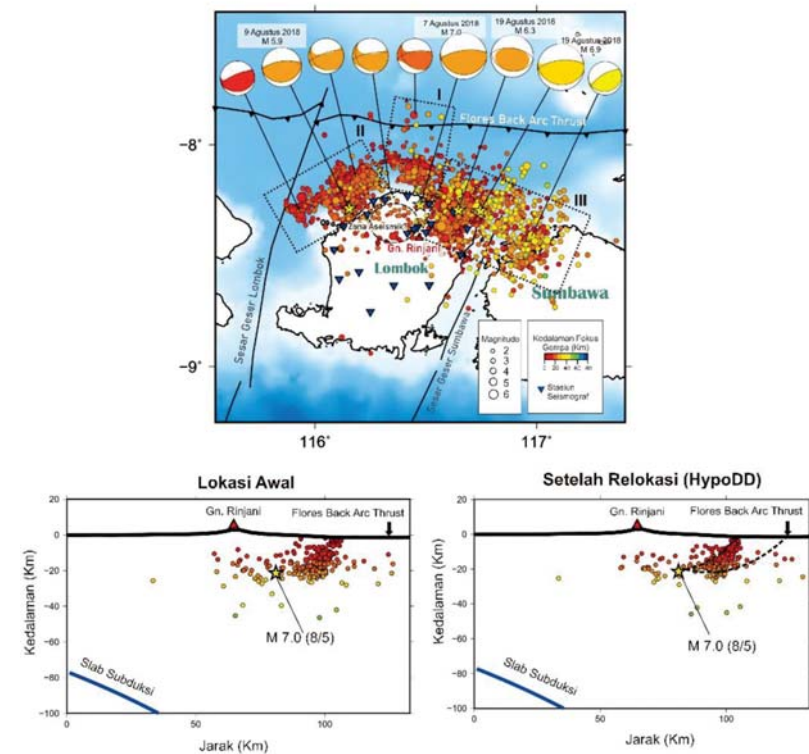
Tugas dan tahapan paling dasar dan penting dari ilmu seismologi yaitu identifikasi kejadian gempa dan penentuan fase-fase waktu tiba gelombang gempa terutama gelombang P dan S. Pada studi ini, identifikasi kejadian gempa lokal dan penentuan waktu tiba gelombang P dan S (*picking* waktu tiba) dilakukan dengan melihat rekaman seismogram dari suatu kejadian gempa yang terekam di semua stasiun dengan sangat teliti menggunakan perangkat lunak *Seisgram2K* (Lomax & Michelini, 2007) seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pada studi ini, kami berhasil mengidentifikasi ~3200 kejadian gempa susulan dengan jumlah fase gelombang P ~28700 dan fase gelombang S ~20700 (Sasmi dkk., 2020; Afif dkk., 2021).



Gambar 5. Contoh rekaman seismogram tiga komponen untuk gempa susulan yang terjadi pada 16 Agustus 2018 Pukul 11.30 UTC di zona sumber gempa Lombok 2018 yang terekam oleh stasiun seismograf temporer LM02, LM06, LM04, LM14, LM09 dan LM13 (Afif dkk., 2021). Garis merah merupakan *onset* waktu tiba gelombang P dan warna biru untuk *onset* waktu tiba gelombang S. Angka yang tertera di seismogram merupakan selisih waktu tiba gelombang S dan P ($T_s - T_p$) dalam satuan detik.

Penentuan lokasi awal hiposenter menggunakan metode *non-linear location* (Lomax & Michelini, 2009) dengan model awal kecepatan seismik awal 1-D ak-135 (Kennet dkk., 1995) dan nilai rasio $V_p/V_s = 1.71$ yang diperoleh dari diagram Wadati. Selanjutnya, untuk meningkatkan akurasi dari lokasi hiposenter, dilakukan proses relokasi hiposenter dengan metode *double-differece* (Waldhauser & Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) dan model awal kecepatan seismik 1-D yang sudah diperbaharui menggunakan VELEST (Kissling dkk., 1994). Kekuatan gempa atau *magnitudo moment* (M_w) dari gempa-gempa susulan dihitung dengan

menggunakan metode pencocok kurva amplitudo spektrum *displacement* dengan model Brune mengikuti prosedur penentuan magnitudo dari Stork dkk. (2014). Hasil perhitungan menunjukkan nilai magnitudo *moment* dari gempa-gempa susulan berkisar dari 1.7 sampai dengan 6.7 (Gambar 6). Pola seismisitas menunjukkan ada tiga kluster gempa-gempa susulan yang lokasinya bertepatan dengan gempa-gempa kuat dengan magnitudo lebih besar dari 6 ($M_w \geq 6$) yang diinterpretasi kemungkinan sebagai area *rupture* utama dari rangkaian gempa Lombok 2018 (Gambar 6). Kemudian, zona *aseismic* teramati di sekitar Gn. Rinjani sampai ke arah barat-laut yang kemungkinan berasosiasi dengan zona temperatur kenaikan temperatur dan zona *fracture* (Sasmi dkk., 2020; Afifi dkk., 2021). Hasil dari studi ini dapat memberikan informasi penting untuk usaha mitigasi bencana gempa, data dasar seismologi untuk studi lanjut dan juga sebagai salah satu *input* untuk pemutakhiran Peta Sumber Bahaya Gempa Nasional Indonesia.

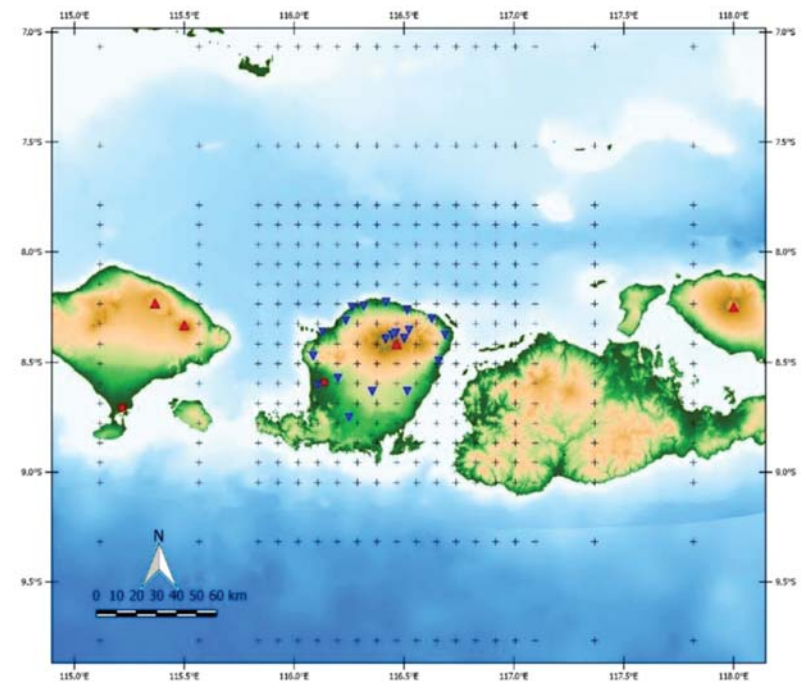


Gambar 6. Peta lokasi hiposenter dari hasil studi ini (Sasmi dkk., 2020; Afifi dkk., 2021). (a) Distribusi lokasi episenter gempa-gempa Lombok tahun 2018 (lingkaran berwarna berdasarkan kedalaman fokus gempa) yang sudah direlokasi (dimutakhirkan) pada studi ini. Ukuran lingkaran menyatakan nilai magnitudo *moment* (M_w). Simbol bintang kuning merupakan gempa-gempa kuat yang berhasil ditentukan lokasi hiposenternya pada studi ini. Mekanisme fokus untuk beberapa gempa kuat diperoleh dari katalog Global Centroid Moment Tensor (Global CMT). Garis hitam merupakan sesar aktif (Irsyam dkk., 2017), garis hitam putus-putus elips menandakan zona *aseismic* dan garis hitam putus-putus kotak merupakan distribusi dari kluster-kluster gempa. (b) Penampang vertikal yang melalui gempa kuat 5 Agustus 2018 (M_w 7). Distribusi kluster gempa menunjukkan pola yang diinterpretasi sebagai *thrust-fault* dimana lokasinya berada di depan (arah selatan) sesar naik belakang busur Flores.

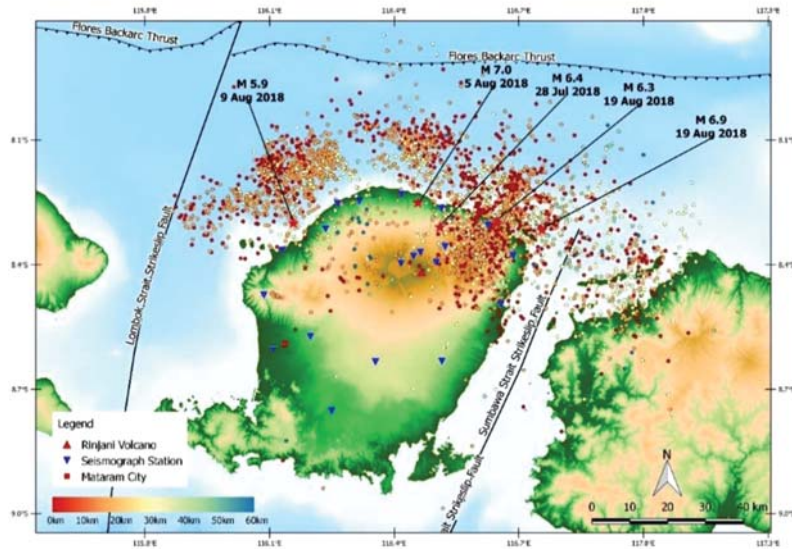
6. TOMOGRAFI SEISMIK WAKTU TEMPUH DI ZONA SESAR AKTIF: ZONA SUMBER GEMPA LOMBOK 2018

Studi mengenai karakteristik, geometri dan properti fisis zona sumber gempa sangat penting dilakukan untuk mencari dan memahami bagaimana gempa besar atau kuat dibangkitkan. Pada studi ini (Afif dkk., 2021), kami menggunakan data waktu tiba gelombang P dan S dari gempa-gempa kedalaman dangkal dan bersifat lokal (jarak episenter ≤ 140 km) yang terekam 20 seismograf temporer (Gambar 7) yang dipasang oleh ITB, the Earth Observatory of Singapore/Nanyang Technological University, BMKG dan PVMBG di zona sumber rangkaian gempa Lombok 2018. Tujuan dari studi inversi tomografi gempa lokal ini yaitu untuk menentukan struktur kecepatan seismik 3-D (V_p , V_s , rasio V_p/V_s) resolusi tinggi di zona sumber rangkaian gempa Lombok 2018. Pemasangan 20 alat seismograf temporer dilakukan pada awal Agustus 2018 dan melakukan perekaman kegempaan sampai dengan 9 September 2018. Total ada ~3200 kejadian gempa yang digunakan untuk *input* inversi tomografi dengan jumlah fase gelombang P = ~28700 dan fase gelombang S = ~20700 (Gambar 8). Proses inversi tomografi menggunakan metode SIMULPS12 (Evans dkk., 1994) dimana proses penentuan struktur 3-D V_p , rasio V_p/V_s dan relokasi hiposenter dilakukan secara simultan. Waktu tempuh kalkulasi dari sumber ke penerima melalui model kecepatan seismik 3-D menggunakan metode *ray tracing pseudo bending* (Um & Thurber, 1987). Untuk prosedur inversi tomografi, paramateriasi model dalam bentuk

grid node 3-D dimana jarak spasi yaitu 10 km x 10 km x 10 km (Gambar 7). Model awal kecepatan 1-D diperoleh dari studi sebelumnya oleh Sasmi dkk. (2020) dengan model awal rasio $V_p/V_s = 1.71$. Uji resolusi tomografi di semua ruang model menggunakan beberapa metode yaitu *derivative weight sum* (DWS) (Toomey & Foulger, 1989), *diagonal resolution element* (DRE) (Menke, 1989) dan uji resolusi *checkerboard*.



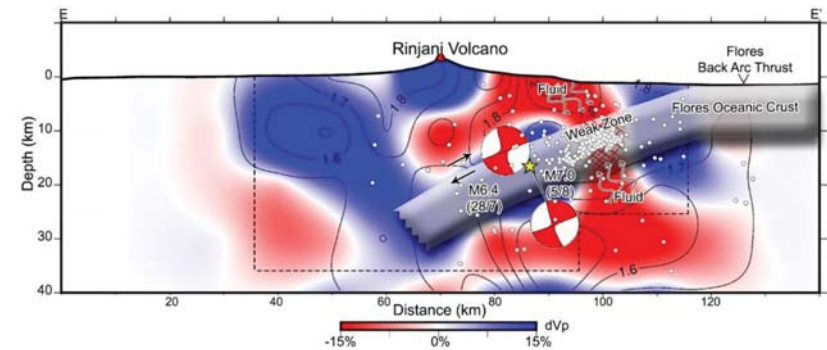
Gambar 7. Peta area studi dan distribusi 20 stasiun seismograf temporer di zona sumber gempa Lombok tahun 2018 (segi tiga biru terbalik) serta parameter model *grid node* (positif hitam) dengan jarak spasi 10 x 10 x 10 km. Segi tiga merah merupakan Gn. Rinjani (Afif dkk., 2021).



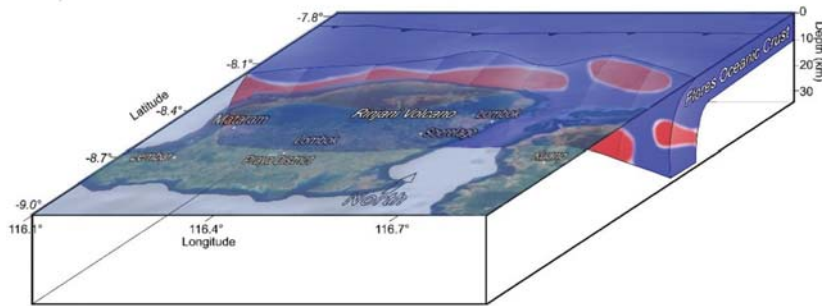
Gambar 8. Distribusi hiposenter gempa-gempa kuat dan gempa susulan di zona gempa Lombok 2018 yang digunakan sebagai *input* inversi tomografi pada studi ini (Samsi dkk., 2020; Afif dkk., 2021).

Hasil inversi tomografi, area sumber gempa utama di sebelah utara Lombok teramati sebagai zona dengan gradien lateral kuat di area struktur kecepatan dimana zona *stress* terkonsentrasi melawan zona V_p tinggi yang diinterpretasi sebagai blok yang koheren (Gambar 9 dan 10). Gempa susulan terinduksi oleh aktifitas ini meluas ke zona dengan nilai V_p rendah dan rasio V_p/V_s tinggi yang kemungkinan berhubungan dengan rekahan di lapisan kerak dan kehadiran fluida. Fluida bertindak menurunkan *effective normal stress* dan menyebabkan gempa-gempa terpicu pada keadaan tekanan lebih rendah (Gambar 9 dan 10). Zona

dengan nilai kecepatan rendah dan nilai rasio V_p/V_s tinggi teramati di bawah Gn. Rinjani yang kemungkinan merupakan hasil dari intrusi magma melalui lapisan kerak (Gambar 9 dan 10).



Gambar 9. Interpretasi 2-D dari penampang vertikal struktur V_p hasil inversi tomografi yang melewati gempa Lombok yang terjadi pada 5 Agustus 2018 (Mw 7) (Bintang kuning) dengan mekanisme sesar naik (katalog *Global CMT*) dan Gn. Rinjani (Afif dkk., 2021). Segi tiga terbalik merupakan merupakan lokasi sesar naik belakang busur Flores (Irsyam dkk., 2017). Kerak samudera Flores (blok abu-abu) menunjam ke arah selatan dan zona lemah berada di bagian tengah dari blok ini yang kemungkinan berasosiasi dengan zona rekahan pada lapisan kerak dan kehadiran fluida dari bagian atas dan bawah kerak saumudera Flores. Warna biru merupakan anomali positif V_p dan warna merah anomali negatif V_p relative terhadap model awal kecepatan 1-D.



Gambar 10. Kartun 3-D subduksi kerak samudera Flores ke arah selatan yang ditandai dengan blok warna biru diturunkan dari struktur Vp hasil inversi tomografi (Afif dkk., 2021). Warna merah merupakan zona lemah dimana hampir semua gempa-gempa susulan terjadi di zona ini.

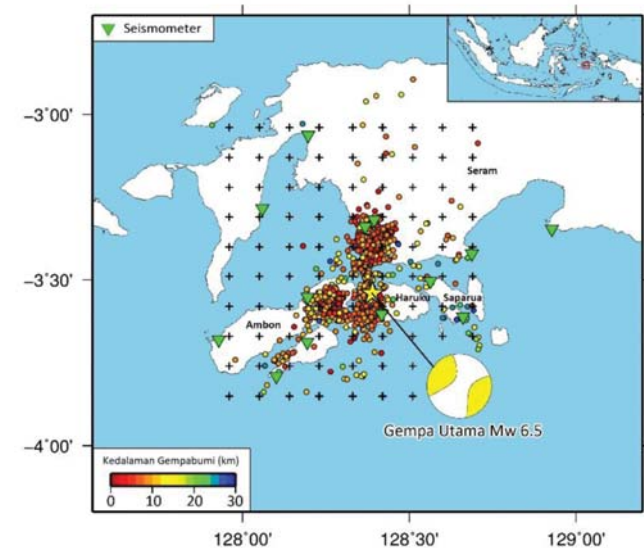
7. TOMOGRAFI SEISMIK WAKTU TEMPUH DI ZONA SESAR AKTIF: ZONA SUMBER GEMPA AMBON 2019

Pulau Ambon berada di bagian utara Busur Sunda bagian timur Indonesia yang merupakan zona tetonik aktif dan geologi yang kompleks. Gempa kuat (Mw 6.5) dan dangkal terjadi di wilayah ini pada tanggal 26 September 2019 dimana goncangannya dirasakan kuat di kota Ambon dan Kairatu yang menyebabkan kerusakan bangunan, infrastruktur dan korban jiwa. Lokasi hiposenter gempa berada diantara Pulau Ambon dan Pulau Haruku dengan kedalaman fokus gempa ~12 km (Global CMT, Ekström dkk., 2012) dengan mekanisme *strike slip* (Gambar 11). Gempa utama diikuti oleh rangkaian gempa susulan yang berlangsung beberapa bulan. Gempa susulan tidak hanya terjadi di antara Pulau Ambon dan Pulau Haruku dengan pola hampir utara-selatan, tapi juga terjadi di Pulau

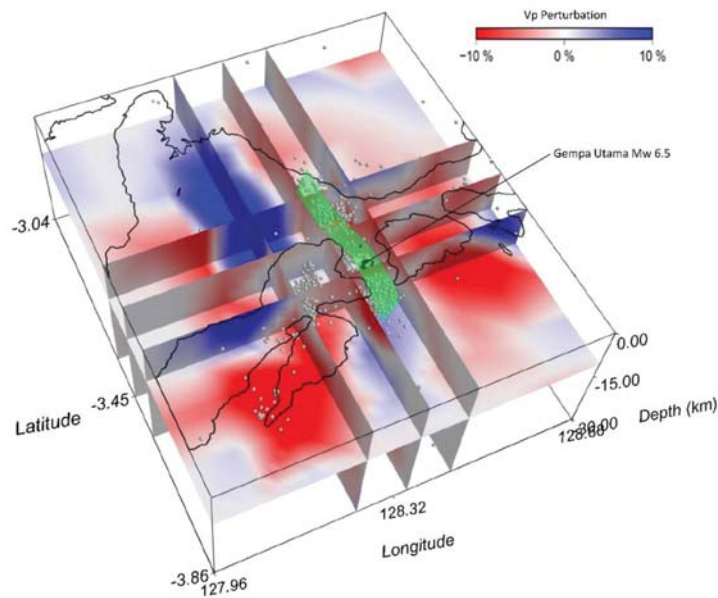
Ambon dengan pola timur laut-barat daya (Gambar 11). Hasil studi sebelumnya mengenai distribusi gempa susulan dan pemodelan *slip* (Sahara dkk., 2021), sesar utama yang menyebabkan terjadinya gempa Ambon 2019 mempunyai panjang segmen ~35 km dengan bidang sesar bearah utara-selatan diantara Pulau Ambon dan Pulau Haruku, dimana mengaktifkan kembali zona lemah bidang sesar dengan arah timur laut-barat daya di Pulau Ambon. Studi dengan menggunakan data GPS dari Meilano dkk. (2021) menunjukkan gempa Ambon 2019 disebabkan oleh suatu sesar dengan *slip rate* 4.9 mm/tahun dengan interval terulang kejadian gempa ~115 tahun. Berdasarkan sejarah kegempaan, area ini pernah terjadi beberapa kali gempa kuat di masa lalu seperti gempa yang membangkitkan tsunami (Mw 8.1) dimana tercatat *run-up* yang besar di bagian utara pantai Ambon (Løvholt dkk., 2012) berdasarkan pemodelan tsunami yang diturunkan dari *landslide* di pantai yang dipicu oleh gempa (Pranantyo dan Cummins, 2019), gempa tahun 1950 (M 7.3) di selatan Pulau Ambon (Latief dkk., 2016) dan gempa tahun 1997 (Mw 5.2) di bagian barat Pulau Ambon yang mempunyai mekanisme yang mirip dengan gempa tahun 2019 (Mw 6.5) (Sahara dkk., 2021). Area ini juga dilaporkan mempunyai paling tidak 14 kejadian tsunami di masa lalu (Pranantyo dan Cummins, 2019). Meskipun area ini merupakan zona tektonik aktif dengan beberapa kejadian gempa kuat dan merusak di masa lalu dan beberapa kejadian gempa membangkitkan tsunami, informasi mengenai geometri sesar penyebab gempa Ambon 2019 masih terbatas.

Pada studi ini (Nugraha dkk., 2021), kami melakukan inversi tomografi waktu tempuh untuk menentukan struktur 3-D V_p , V_s dan rasio V_p/V_s di bawah Pulau Ambon dan sekitarnya untuk mencitrakan geometri sesar di zona sumber gempa Ambon 2019 (Mw 6.5). Sekitar satu bulan setelah terjadi gempa utama, 11 stasiun seismograf temporer dipasang di Pulau Ambon, Pulau Haruku dan Pulau Saparua yang merupakan kerja sama antara ITB, BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), BMKG dan Universitas Pattimura dan didukung oleh TNI (Tentara Nasional Indonesia) di lapangan dari 18 Oktober s.d 15 Desember 2019 (Gambar 11). Pada saat pemrosesan data, stasiun temporer ini dikombinasikan dengan 2 stasiun regional permanen BMKG. Kami menggunakan data katalog gempa dari Sahara dkk. (2021) sebagai *input* untuk proses inversi tomografi. Total ada ~1600 kejadian gempa dengan jumlah fase gelombang P ~9900 dan fase gelombang S ~9900 (Gambar 11). Metode tomografi waktu tempuh SIMULPS12 (Evans dkk., 1994) digunakan untuk melakukan penentuan struktur 3-D V_p , rasio V_p/V_s dan relokasi hiposenter secara simultan. Model awal kecepatan 1-D ak135 (Kennett dkk., 1995) diperbaharui menggunakan VELEST (Kissling dkk., 1995). Berdasarkan distribusi stasiun, distribusi episenter gempa dan perkiraan lintasan sinar gelombang, jarak spasi *grid node* 10 x 10 x 10 km digunakan untuk parameterisasi model kecepatan seismik. Evaluasi resolusi model tomografi dilakukan dengan menggunakan analisis DWS (Toomey & Foulger, 1989), DRE (Menke, 1989) dan uji *checkerboard*.

Hasil dari proses inversi tomografi menunjukkan beberapa fitur teramati (Gambar 12) yaitu (i) kontras kecepatan seismik di kedalaman ~10 km dengan arah barat daya – tenggara yang diinterpretasi kemungkinan merupakan geometri sesar dari gempa Ambon 2019 (Mw 6.5), (ii) lokasi gempa susulan berada di zona V_p tinggi, V_s tinggi dan rasio V_p/V_s tinggi dan (iii) kluster gempa susulan di Pulau Ambon berada di zona V_p rendah, V_s rendah dan rasio V_p/V_s tinggi, dimana kemungkinan keberadaan fluida yang memicu gempa susulan tersebut.



Gambar 11. Peta area studi di Pulau Ambon dan sekitarnya (Nugraha dkk., 2021). Distribusi episenter (lingkaran berwarna) dari 18 Oktober s.d 15 Desember 2019 (Sahara dkk., 2021). Gempa utama (bintang kuning) dan mekanisme fokus dari Global CMT. Segi tiga hijau terbalik merupakan stasiun seismograf yang digunakan pada studi ini.



Gambar 12. Interpretasi bidang sesar berdasarkan struktur V_p hasil inversi tomografi (Nugraha dkk., 2021). Bulat putih untuk distribusi gempa susulan, area warna hijau merupakan interpretasi skematik bidang sesar. Gempa utama (bulat hitam) dan mekanisme fokus dari Global CMT.

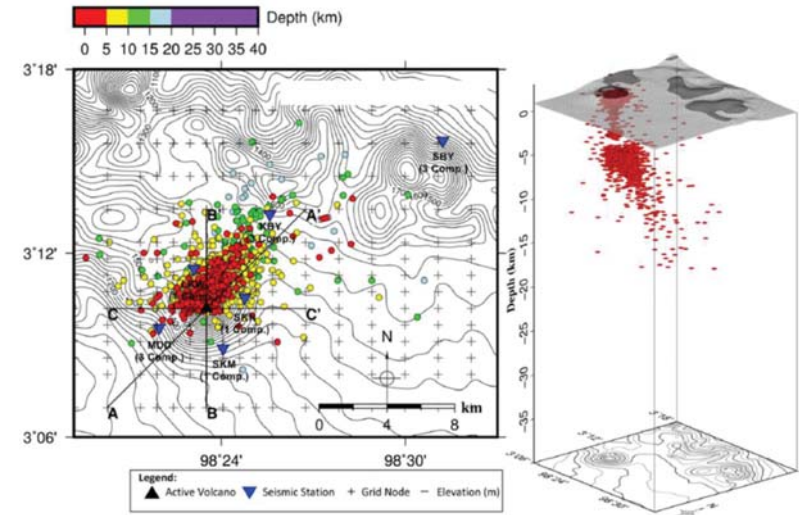
8. TOMOGRAFI SEISMIK WAKTU TEMPUH DI ZONA GUNUNGAPI AKTIF: ZONA GUNUNGAPI SINABUNG

Inversi tomografi dengan memanfaatkan waktu tempuh gelombang P dan S dari gempa vulkanik-tektonik (VT) diaplikasikan untuk mencitrakan struktur V_p , V_s dan rasio V_p/V_s di sekitar zona gunungapi aktif. Struktur kecepatan seismik dapat membantu untuk interpretasi geologi bawah permukaan mengenai hubungan antara proses subduksi,

proses magmatisme dan terbentuknya jajaran gunungapi. Pemahaman mengenai keberadaan zona lemah, material panas, sistem *plumbing* dan proses magmatisme di bawah gunungapi aktif sangat penting untuk usaha mitigasi bencana letusan gunungapi. Wilayah kepulauan Indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng utama seperti lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Filipina mempunyai implikasi banyak terjadi gempa dan terdapatnya jajaran gunungapi aktif, dimana ada 127 gunungapi aktif di Indonesia (Gambar 2).

Gunung Sinabung terletak di Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Puncak gunung Sinabung mempunyai elevasi 2460 m di atas rata-rata permukaan laut. Gunung Sinabung tertidur lama atau tidak pernah mengalami erupsi yang besar sekitar ~1200 tahun, kemudian mengalami erupsi pada bulan Agustus 2010. Penelitian inversi tomografi waktu tempuh yang telah dilakukan oleh kami (Nugraha dkk., 2019) bertujuan untuk memahami sistem magmatisme dibawah gunung Sinabung berdasarkan struktur kecepatan seismik 3-D (V_p , V_s dan rasio V_p/V_s) dengan menggunakan waktu tempuh gelombang P dan S dari gempa vulkanik-tektonik (VT) pada periode Nopember – Desember 2013. Gempa VT dapat dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu (i) gempa VT-A mempunyai karakteristik fokus gempa relatif dalam terhadap puncak gunung, mempunyai fase gelombang P dan S yang jelas, sedangkan (b) gempa VT-B mempunyai karakter yang mirip dengan VT-A akan tetapi

fokus gempa lebih dangkal dan mempunyai fase waktu tiba gelombang S yang kurang jelas (McCausland dkk., 2019). Studi tomografi waktu tempuh ini bersama dengan studi yang telah dilakukan oleh Indrastuti dkk. (2019) merupakan yang studi tomografi yang pertama di gunung Sinabung. Aktifitas erupsi yang masih berlangsung sampai saat ini mempunyai dampak bencana letusan yang sangat besar terhadap masyarakat di sekitar gunung Sinabung, oleh karena itu studi tomografi seismik sangat penting untuk interpretasi sistem *plumbing* dari gunungapi dimana model konseptual bawah permukaan digunakan dalam kerangka mitigasi letusan gunungapi. Data gempa VT yang digunakan pada studi tomografi ini berasal dari periode waktu Nopember s.d Desember 2013 dimana gempa-gempa VT banyak terjadi, konduit sudah terbentuk dan magma sudah sampai ke permukaan gunung Sinabung. Jumlah kejadian gempa VT= ~4800 yang terekam oleh enam stasiun seismograf PVMBG dimana menghasilkan fase waktu tiba gelombang P = ~16,100 dan fase waktu tiba gelombang S = ~16,100 yang digunakan sebagai *input* untuk proses inversi tomografi waktu tempuh (Gambar 13).

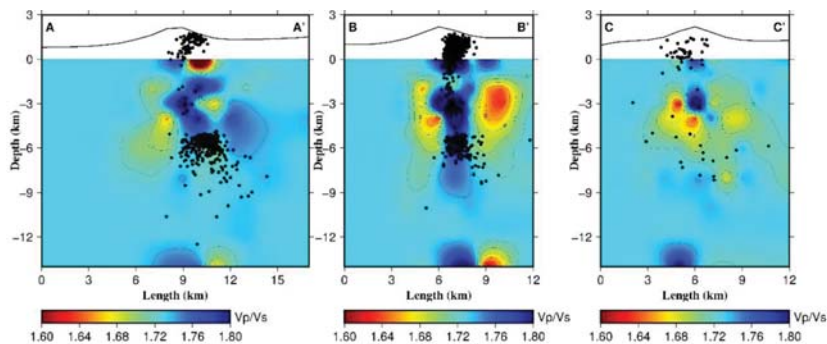


Gambar 13. Peta distribusi episenter gempa VT (bulat berwarna) periode waktu November s.d Desember 2013 di gunung Sinabung, Sumatera Utara, Indonesia. Tanda *plus* hitam merupakan parameterisasi model *grid node* pada saat proses inversi tomografi. Stasiun seismograf PVMBG ditunjukkan dengan segi tiga biru terbalik (Nugraha dkk., 2019).

Model awal kecepatan seismik 1D digunakan sebagai input untuk proses inversi tomografi 3D dengan menggunakan metode SIMULPS12 (Evans dkk., 1994) untuk menentukan struktur 3D V_p , V_s dan rasio V_p/V_s serta relokasi hiposenter secara simultan. Resolusi tomografi di evaluasi dengan metode *checkerboard test* (CKB), *diagonal resolution element* (DRE) dan *derivative weight sum* (DWS).

Hasil inversi tomografi menunjukkan tiga zona dengan nilai rasio V_p/V_s tinggi (~1.8) di bawah gunung Sinabung pada kedalaman yang

konsisten dengan kluster hiposenter gempa (Gambar 14). Dimana anomali ini diinterpretasikan sebagai intrusi yang berhubungan dengan erupsi sebelumnya dan kemungkinan merupakan zona di sekitar conduit magma. Area anomali lainnya kemungkinan berhubungan dengan zona leburan sebagian pada elevasi *sea level* dan di bawah puncak tempat erupsi. Hasil relokasi gempa VT menunjukkan kedalaman fokus gempa terbagi menjadi tiga kluster yaitu (i) dari permukaan sampai *sea level*, (ii) kedalaman 2 s.d 4 km di bawah *sea level* dan (iii) kedalaman 5 s.d 8.5 km di bawah *sea level* (Gambar 14). Hasil inversi tomografi dari studi ini sangat penting untuk interpretasi model konseptual *plumbing system* untuk usaha mitigasi letusan gunungapi.



Gambar 14. Penampang vertikal struktur rasio V_p/V_s di bawah gunung Sinabung (Gambar 13) hasil inversi tomografi. Warna biru untuk nilai rasio V_p/V_s tinggi dan warna merah untuk nilai rasio V_p/V_s rendah. Bulat hitam merupakan lokasi gempa VT hasil proses relokasi hiposenter (Nugraha dkk., 2019).

9. PENUTUP

Wilayah Indonesia dipengaruhi oleh empat lempeng tektonik aktif utama di dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Filipina. Keadaan ini mempunyai implikasi wilayah Indonesia mempunyai tingkat seismisitas tinggi, mempunyai jajaran gunungapi aktif dan keadaan geologi yang kompleks. Hal ini juga yang menjadikan wilayah Indonesia merupakan salah satu laboratorium alam yang paling lengkap untuk dipelajari dan dipahami untuk usaha mitigasi bencana gempa dan letusan gunungapi serta untuk pemanfaatan sumber daya alam yang terkandung di dalamnya. Pengembangan dan aplikasi ilmu kebumihannya khususnya seismologi dan tomografi seismik sangat penting untuk lebih memahami keadaan interior bumi dan proses-proses fisis yang terjadi untuk usaha mitigasi bencana gempa dan letusan gunungapi. Budaya meneliti yang sudah tertanam kuat pada saat menempuh program doktor dan penelitian *Postdoctoral* di Kyoto University, saya coba terapkan pada saat saya memulai perjalanan karier sebagai seorang dosen di ITB. Bagi seorang dosen muda dan belum berpengalaman seperti saya pada saat itu, hal ini menjadi tantangan dan petualangan untuk bisa mengembangkan keilmuan dengan sistem dan lingkungan yang berbeda. Seorang dosen di ITB tidak hanya dituntut untuk melakukan pendidikan/pengajaran saja, tetapi ada tugas lain yaitu melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Pada awalnya, memang terasa berat untuk menjalankan sistem dan kebiasaan baru pada

waktu itu, tetapi saya tetap berusaha dan semangat. Beruntung dan Alhamdulillah, Bapak/Ibu senior sekaligus guru saya di Program Studi Teknik Geofisika, khususnya KK Geofisika Global, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, telah banyak membantu dan membimbing saya sebagai dosen muda pada waktu itu yang masih belum berpengalaman untuk menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Tantangan bagi saya waktu itu, bagaimana mengembangkan ilmu yang diperoleh pada saat studi di Jepang bisa bermanfaat dan berguna bagi mahasiswa-mahasiswa di ITB dan juga bangsa dan negara Indonesia tercinta. Pada waktu itu saya mempunyai tekad bahwa seorang dosen, selain mumpuni di bidang keilmuannya, harus kreatif, inovatif, dan mempunyai jiwa kepemimpinan yang kuat di bidang keilmuannya. Di KK Geofisika Global, saya mencoba mengembangkan suatu metode/teknik “Seismologi dan Tomografi Seismik untuk Memahami Struktur Bawah Permukaan di Zona Tektonik Aktif dan Gunungapi”. Penelitian ini dilakukan melalui kerja sama riset dengan Institusi/Universitas lain, baik dalam dan luar negeri serta melibatkan mahasiswa S3, S2, dan S1 sebagai topik dalam disertasi, tesis dan tugas akhir. Melalui kerja sama penelitian ini, pengembangan ilmu, teknologi, dan jejaring menjadi lebih baik dan memberikan manfaat terutama untuk topik-topik penelitian bagi mahasiswa (S3, S2, dan S1). Kedepannya akan mengembangkan riset dengan fokus utama di bidang seismologi dan tomografi seismik untuk penentuan struktur fisis 3-D di zona subduksi, sesar aktif dan gunungapi

aktif melalui kerja sama riset nasional dan internasional. Pemahaman secara rinci mengenai mekanisme sumber gempa dan struktur bawah permukaan di zona tektonik aktif dan gunungapi di wilayah Indonesia akan sangat membantu upaya mitigasi bencana gempa dan letusan gunungapi.

10. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT, bahwasannya atas segala karuniaNya yang telah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu saya dalam menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi di ITB yaitu

1. Dekanat Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan
2. Dekanat Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan
3. Ketua dan anggota Kelompok Keahlian Geofisika Global
4. Sejawat dan senior di Prodi Teknik Geofisika
5. Sejawat dan senior di Prodi Sains Kebumihan
6. Sejawat dan senior di Prodi Teknik Panas Bumi
7. Sejawat di Lab Vulkanologi dan Panas Bumi, FTTM (sebelumnya

- Lab Geofisika Dekat Permukaan) untuk kerja sama dan kerja kerasnya menghasilkan karya penelitian
8. Sejawat di Pusat Unggulan Iptek Sains dan Teknologi Kegempaan untuk kerja sama dan kerja kerasnya menghasilkan karya penelitian
 9. Mahasiswa dan alumni yang telah lulus dan telah bekerja keras untuk menghasilkan karya penelitian dari Prodi Teknik Geofisika, Prodi Sains Kebumihan, dan Prodi Teknik Panas Bumi
 10. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI) untuk kerja sama dan dukungannya
 11. Mitra kerjasama pendidikan, peneliti dan pengabdian di BMKG, BNPB, PVMBG Badan Geologi, PSG Badan Geologi, Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGEN), Kementerian PU/Puskim, Universitas Gadjah Mada, Institut Teknologi Sumatera, Universitas Pattimura, Universitas Pertamina, PT Pertamina, PT Star Energy Geothermal Wayang Windu, GFZ Potsdam Jerman, VDAP USGS, IRD Perancis, Kyoto University, JICA Jepang, Australian National University, EOS/Nanyang Technological University, Grenoble University, Cambridge University, dan lain lain.
 12. Bapak kami (Alm. Rahmat Hidayat) yang telah berpulang sejak kami di bangku sekolah dan Ibu Kami (Elin Carliani), terima kasih yang tak terhingga untuk segalanya.
 13. Istri tercinta (Erlis Dini), dan anak-anak kami (Khawarizmi

- Altamis Nugraha & Almahyra Azahra Nugraha) yang telah mendukung saya, mendoakan saya, kesabarannya dalam suka dan duka, canda dan tawa.
14. Adik saya (Dwi Firman Nugraha dan keluarga) untuk doa dan dukungannya
 15. Keluarga besar Bapak mertua Abah H. Nondi Sastramihardja untuk doa dan dukungannya
 16. Keluarga besar Abah Yeye Sulaeman (Alm) di Paseh, Tasikmalaya untuk doa dan dukungannya
 17. Keluarga besar Abah Husen Rohendi (Alm) di Panawangan, Ciamis untuk doa dan dukungannya
 18. Bapak/Ibu guru kami sejak TK Pertiwi Panawangan, SDN 1 Panawangan Ciamis, SMPN 1 Panawangan Ciamis, dan SMAN 1 Tasikmalaya atas ilmu, petuah, doa dan dukungannya.
 19. Rekan-rekan Alumni GM ITB, GM 98 ITB dan 98 ITB atas kebersamaan dan dukungannya
 20. Rekan-rekan Alumni SMAN 1 Tasikmalaya dan SATAS 97 atas kebersamaan dan dukungannya

Saya mohon maaf pada semua pihak yang telah banyak membantu, tetapi tidak dapat saya tuliskan satu per satu di sini. Sekali lagi saya haturkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, H., Nugraha, A. D., Muzli, M., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Z., Wei, S., Sahara, D. P., Riyanto, A., Puspito, N. T., Priyono, A., Sasmi, A. T., Supendi, P., Ardianto, A., Syahbana, D. K., 2021. Tomography of the Source Area of the 2018 Lombok Earthquakes, Indonesia, from Local Seismograph Networks, *Geophys. J. Int.* 2021, 10.1093/gji/ggab189, 226, 3, 1814-1823
- Altamimi Z., Métivier L., Rebischung P., Rouby H., Collilieux X., 2017. ITRF2014 plate motion model, *Geophys. J. Int.*, 209, 1906–1912. 10.1093/gji/ggx136
- Basuki, A., Nugraha, A. D., Hidayati, S., Triastuty, H., 2019. Determination of Hypocentre and Seismic Velocity Structure in Guntur Volcano Using Seismic Data from 2010 to 2014, *Indonesian Journal on Geoscience*. 2019, Vol 6, No 3, <https://ijog.geologi.esdm.go.id/index.php/IJOG/article/view/516>
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), sumber data dari http://repogempa.bmkg.go.id/repo_new/
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2019. Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821–2018, Pusat Gempa dan Tsunami BMKG, sumber dari <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/katalog-gempabumi-signifikan.bmkg> (diakses pada Januari 2019)
- Ardianto, A., Nugraha, A. D., Afif, H., Syahbana, D. K., Sahara, D. P., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Priyono, A., Rosalia, S., Saepuloh, A., Kasbani, K., Muttaqy, F., Puput, P. R., Imam, C. P., Martanto, M., 2021. Imaging the subsurface structure of Mount Agung in Bali (Indonesia) using volcano-tectonic (VT) earthquake tomography, *Front. Earth Sci*, 2021. doi: 10.3389/feart.2021.619587, 9, 619587
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., & Stein, S. 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.* 21, 2191–2194.
- Dziewonski, A. M., Chou, T.-A. & Woodhouse, J. H. 1981. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.* 86, 2825–2852, doi: 10.1029/JB086iB04p02825
- Ekström, G., Nettles, M., & Dziewonski, A. M. 2012. The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes, *Phys. Earth Planet. In.* 200/201, 1–9, doi: 10.1016/j.pepi.2012.04.0
- Engdahl, E. R., Di Giacomo, D., Sakarya, B., Gkarlaouni, C. G., Harris, J., and Storchak, D. A. 2020. ISC-EHB 1964-2016, an Improved Data Set for Studies of Earth Structure and Global Seismicity, *Earth and Space Science*, 7(1), e2019EA000897, <https://doi.org/10.1029/2019EA000897>
- Evans, J.R., Eberhart-Phillips, D. & Thurber, C.H., 1994. User's manual for SIMULPS12 for imaging vp and vp/vs: a derivative of the 'Thurber' tomographic inversion SIMUL3 for local earthquakes and explosions,

94–431, 101.

Global Volcanism Program, 2013. Rinjani (264030) in volcanoes of the world, v. 4.7.5. Venzke, E (ed.). Smithsonian Institution. Downloaded on 27 Jan 2019, doi:10.5479/si.GVP.VOTW4-2013.

Gunawan, M. T., Kusnandar, R., Supendi, P., Nugraha, A. D., Puspito, N. T., Daryono, Sahara, D. P., Zulfakriza., 2020. Analysis of swarm earthquakes around Mt. Agung Bali, Indonesia prior to November 2017 eruption using regional BMKG network, *Geoscience Letters*, 2020, 7:14, <https://doi.org/10.1186/s40562-020-00163-7>.

Hidayat, H., Nugraha, A. D., Priyono, A., Marjiyono, M., Setiawan, J. H., Sahara, D. P., Winardhi, S., Zulfakriza, Z., Rosalia, S., Lelono, E. B., Permana, A. K., Setiawan, A., 2021. Travel time tomography to delineate 3-D Regional Seismic Velocity Structure in the Banyumas Basin, Central Java, Indonesia, using Dense Borehole Seismographic Stations, *Front. Earth Sci*, 2021. 10.3389/feart.2021.639271, 9, 639271

Indrastuti, N., Andri Dian Nugraha, McCausland, W., Hendrasto, M., Gunawan, H., Kusnandar, R., Kasbani, Kristianto., 2019. 3-D Seismic Tomographic study of Sinabung Volcano, Northern Sumatra, Indonesia, during the inter-eruptive period October 2010 - July 2013, *J Volcanol Geotherm Res.* 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.03.001>.

Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaya, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N. R., Djarwadi, D., Faizal, L., dkk.

2017. Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kennett, B. L. N., Engdahl, E. R., & Buland, R. 1995. Constraints on seismic velocities in the Earth from traveltimes, *Geophys. J. Int.* 122, 108–124.

Kissling, E., Ellsworth, W. L., Eberhart-Phillips, D. & Kradolfer, U. 1994. Initial reference models in local earthquake tomography, *J. Geophys. Res.* 99, 19,635–19,646.

Kusumawati, D., Sahara, D. P., Widiyantoro, S., Nugraha, A.D., Muzli, M., Imran, I., Puspito, N. T., Zulfakriza, 2021. Fault Instability and Its Relation to Static Coulomb Failure Stress Change in The 2016 Mw 6.5 Pidie Jaya Earthquake, Aceh, Indonesia, *Front. Earth Sci*, 2021, doi:10.3389/feart.2020.559434, 8, 559434

Latief, H., Kodijat, A., Ismoyo, D., Bustamam, B., Adyasar, D., Nurbandika, N., & Rahayu, H. 2016. Air turun naik di tiga negeri. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, Office Jakarta - Indian Ocean Tsunami Information Centre

Lomax, A. & Michelini, A., 2007. Mwpd: rapid determination of earthquake magnitude and tsunamigenic potential from Pwaveforms, *AGU Fall Meet. Abstr.*, 1, 1034.

Lomax, A., & Michelini, A., 2009. Mwpd: A duration-amplitude procedure for rapid determination of earthquake magnitude and tsunamigenic

- potential from P waveforms, *Geophys. J. Int.* 176, 200–214, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03974.x.
- Lythgoe, K. H., Muzli, M., Bradley, K., Wang, T., Nugraha, A. D., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Wei, S., 2021. Thermal squeezing of the seismogenic zone controlled rupture of the volcano-rooted Flores Thrust, *Sci. Adv.*, 2021. Vol. 7, no. 5, eabe2348, DOI: 10.1126/sciadv.abe2348
- McCausland, W., Gunawan, H., White, R.A., Indrastuti, N., Patria, C., Suparman, Y., Putra, A., Triastuty, H., Hendrasto, M., 2019. Using a process-based model of pre-eruptive seismic patterns to forecast evolving eruptive styles at Sinabung Volcano, Indonesia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 382, 253–266.
- Meilano, I., Salman, R., Rahmadani, S., Shi, Q., Susilo, S., Lindsey, E., Suspendi, P., Daryono, D. 2021. Source Characteristics of the 2019 Mw 6.5 Ambon, Eastern Indonesia, Earthquake Inferred from Seismic and Geodetic Data. *Seismol. Res. Lett.* <https://doi.org/10.1785/0220210021>.
- Menke, W., 1989. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, 1st edn, Academic Press.
- Muzli, Umar, M., Nugraha, A.D., Bradley, K. E., Widiyantoro, S., Erbas, K., Jousset, P., Nurdin, I., Wei, S., 2018. The 2016 Mw 6.5 Pidie Jaya, North Sumatra Earthquake, Reactivation of An Unidentified Sinistral Fault in a Distributed Deforming Region, *Seismol. Res. Lett.*, 2018, Vol.89, 1761-1772. doi:10.1785/0220180068.

- Newcomb, K. R., and W. R. McCann, 1987. Seismic history and seismotectonics of the Sunda Arc, *J. Geophys. Res.* 92, no. B1, 421–439
- Nugraha, A. D., Suspendi, P., Rosalia, S., Sahara, D. P., Muhari, A., Priyono, A., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Daryono, D., Prayitno, B., Sadly, M., Karnawati, D., Puspito, N. T., Harisandi, A., Elly, E., 2021. Local Earthquake Tomography to Investigate Fault Geometry Causing the Mw 6.5 September, 2019 Earthquake in Ambon, Indonesia, *Geophys. Res. Lett.*, 2021. (Under Review).
- Nugraha, A.D., Shiddiqi, H. A., Widiyantoro, S., Thurber, C. H., Pesicek, J. D., Wiyono, S. H., Ramdhan, M., Wandono, Irsyam, M., 2018. Hypocenter relocation along the Sunda arc in Indonesia, using a 3D seismic velocity model, *Seismol. Res. Lett.*, 89, 2A, 603-612, 2018, doi: 10.1785/0220170107.
- Nugraha, A.D., Indrastuti, N., Kusnandar, R., Gunawan, H., McCausland, W., 2019. Joint 3-D tomographic imaging of Vp, Vs and Vp/Vs and hypocenter relocation at Sinabung volcano, Indonesia from November to December 2013. *J Volcanol Geotherm Res*, 382, 210-223, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.09.018>.
- Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., Gunawan, A., & Suantika, G., 2013. Seismic velocity structures beneath the Guntur volcano complex, West Java, derived from simultaneous tomographic inversion and hypocenter relocation, *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, Vol. 45A, No. 1, 2013.

- Nugraha, A. D., Mori, J., & Ohmi, S., 2010. Thermal Structure of the Subduction Zone in Western Japan derived from Seismic Attenuation Data, *Geophys. Res. Lett.*, Vol 37, L06310, doi:10.1029/2009GL041522, 2010.
- Nugraha, A. D., & Mori, J., 2006. Three-dimensional velocity structure in the Bungo channel and Shikoku area, Japan, and its relationship to low-frequency earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 33, L24307, doi:10.1029/2006GL028479, 2006
- Pesicek, J. D., Thurber, C. H., Widiyantoro, S., DeShon, H. R., Engdahl, E. R., & Zhang, H. 2010. Sharpening the tomographic image of the subducting slab below Sumatra, the Andaman Islands, and Burma, *Geophys. J. Int.* 181, no. 4, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04630.x.
- Pranantyo, I. R., & Cummins, P. R. 2019. The 1674 Ambon tsunami: Extreme run-up caused by an earthquake-triggered landslide. *Pure and Applied Geophysics*, 177(3), 1639-1657.
- Priyono, A., Nugraha, A. D., Muzli, M., Ardianto, A., Aulia, A. N., Prabowo, B. S., Zulfakriza, Z., Rosalia, S., Sasmi, A. T., Afif, H., Sahara, D. P., Widiyantoro, S., Wei, S., Husni, Y. M., Sarjan, A. F. N., *Seismic Attenuation Tomography from 2018 Lombok Earthquakes, Indonesia*, *Front. Earth Sci.*, 2021, doi: 10.3389/feart.2021.639692, 9, 639692
- PVMBG, <https://magma.esdm.go.id/v1/edukasi/tipe-gunung-api-di-indonesia-a-b-dan-c>

- Ramdhan, M., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., Metaxian, J-P., Saepuloh, A., Kristiyawan, S., Sembiring, A. S., Santoso, A. B., Laurin, A., 2019. Detailed seismic imaging of Merapi volcano, Indonesia, from local earthquake travel-time tomography, *J. Asian Earth Sci.*, 177, 134-145, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.03.018>
- Rosalia, S., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., Supendi, P., Double-difference Tomography of P-and S-wave velocity Structure beneath the Western Part of Java, Indonesia, *Earthquake Science*, 32: 12–25. 2019, doi: 10.29382/eqs-2019-0012-2
- Rosalia, S., Cummins, P., Widiyantoro, S., Yudistira, T., Nugraha, A. D., Hawkins, R., 2020. Group velocity maps using subspace and transdimensional inversions: ambient noise tomography in the western part of Java, Indonesia, *Geophys. J. Int.*, 220, 1260–1274, 2020, <https://doi.org/10.1093/gji/ggz498>
- Sahara, D. P., Nugraha, A.D., Muhari, A., Rusdin, A. A., Rosalia, S., Priyono, A., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Puspito, N. T., Lesmana, A., Kusumawati, D., Ardianto, A., Baskara, A. W., Halauwet, Y., Shiddiqi, H. A., Rafie, M. T., Rietbrock, A., Pradisti, R., Mozef, P. W., Tuakia, M. Z., Elly, E., 2021a. Source Mechanism and Triggered Large Aftershocks of the Mw 6.5 Ambon, Indonesia Earthquake, *Tectonophysics*, 2021, 799, 228709, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228709>, 799, 228709
- Sahara, D. P., Puput, P. R., Nugraha, A. D., Syahbana, D. K., Widiyantoro,

- S., Zulfakriza, Z., Ardianto, A., Baskara, A. W., Rosalia, S., Martanto, M., Afif, H., 2021b. Use of Local Seismic Network in Analysis of Volcano-Tectonic (VT) Events Preceding the 2017 Agung Volcano Eruption, *Front. Earth Sci*, 2021, 10.3389/feart.2021.619801, 9, 619801
- Sarjan, A. F., Zulfakriza, Z., Nugraha, A. D., Rosalia, S., Wei, S., Widiyantoro, S., Cummins, P. R., Muzli, M., Sahara, D. P., Puspito, N.T., 2021. Delineation of Subsurface Structure Beneath 2018 Lombok Earthquake Zone, Indonesia Using Ambient Seismic Noise Tomography, *Front. Earth Sci*, 2021, doi: 10.3389/feart.2021.560428, 9, 560428
- Sasmi, A. T., Nugraha, A. D., Muzli, M., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Z., Wei, S., Sahara, D. P., Riyanto, A., Puspito, N. T., Priyono, A., Afif, H., Supendi, P., Daryono, D., Ardianto, Syahbana, D. K., Husni, Y. M., Prabowo, B.S., Sarjan, A. F. N., 2020. Hypocenter and Magnitude Analysis of Aftershocks of the 2018 Lombok, Indonesia, Earthquakes Using Local Seismographic Networks, *Seismol. Res. Lett*, 2020, 91(4):2152-2162, <https://doi.org/10.1785/0220190348>.
- Setiawan, A., Zulfakriza, Z., Nugraha, A. D., Rosalia, S., Priyono, A., Widiyantoro, S., Sahara, D. P., Marjiyono, M., Setiawan, J. H., Lelono, E. B., Permana, A. K., Hidayat, H., 2021. Delineation of Sedimentary Basin Structure beneath the Banyumas Basin, Central Java, Indonesia, Using Ambient Seismic Noise Tomography, *Geoscience Letters*. 2021. <https://doi.org/10.1186/s40562-021-00202-x>, 8:31

- Silver, E. A., Reed, D., McCaffrey, R., & Joyodiwiryo, Y. 1983. Backarc thrusting in the Eastern Sunda Arc, Indonesia: A consequence of arc-continent collision, *J. Geophys. Res.* 88, 7429–7448.
- Stork, A. L., Verdon, J. P., & Kendall, J. M. 2014. The robustness of seismic moment and magnitudes estimated using spectral analysis, *Geophys. Prosp.* 62, 862–878.
- Supartoyo, S., Surono, & Tofani, E. 2014. Katalog Gempa Merusak Indonesia Tahun 1612–2014 (Edisi Kelima), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi.
- Supendi, P., Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., Pesicek, J., Clifford, T., Chalid, A., Daryono, Wiyono, S., Shiddiqi, H., Rosalia, S., 2020a. Relocated aftershocks and background seismicity in eastern Indonesia shed light on the 2018 Lombok and Palu earthquake sequences, *Geophys. J. Int.*, 221, 1845–1855, 2020a, doi:10.1093/gji/ggaa118.
- Supendi, P., Ramdhan, M., Priyobudi, Sianipar, D., Wibowo, A., Gunawan, M, T., Rohadi, S., Riama, N. F., Daryono, Prayitno, B. S., Murjaya, J., Karnawati, D., Meilano, I., Rawlinson, N., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., Marliyani, G. I., Palgunadi, K. H., Elsera, E. M., 2021. Foreshock-mainshock-aftershock sequence analysis of the 14 January 2021 (Mw 6.2) Mamuju-Majene (West Sulawesi, Indonesia) Earthquake, *Earth, Planets and Space*. 2021, 10.1186/s40623-021-01436-x, 73, 1, 106.
- Supendi, P., Nugraha, A. D., Puspito, N. T., Widiyantoro, S., and Daryono,

2018. Identification of active faults in West Java, Indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis, *Geoscience Letters*, 2018, 5:31, <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0130-y>.
- Supendi, P., Nugraha, A.D., Widiyantoro, S., Abdullah, C. I., Puspito, N. T., Palgunadi, H., Daryono, Wiyono, S. H., 2019. Hypocenter relocation of the aftershock of the Mw 7.5 Palu earthquake (Sept 28, 2018) and Swarm Earthquakes of Mamasa, Central Sulawesi, Indonesia, Using the BMKG Network Data, *Geoscience Letters*, 2019, 6:8, <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0148-9>.
- Supendi, P., Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., Abdullah, C.I., Rawlinson, N., Cummins, P. R., Harris, C. W., and Miller, M. S., 2020b. Fate of Forearc Lithosphere at Arc-Continent Collision Zones: Evidence From Local Earthquake Tomography of the Sunda-Banda Arc Transition, Indonesia, *Geophys. Res. Lett.*, 2020b, <https://doi.org/10.1029/2019GL086472>
- Toomey, D.R. & Foulger, G.R., 1989. Tomographic inversion of local earthquake data from the Hengill-Grensdalur central volcano complex, Iceland, *J. geophys. Res.*, 94, 17497–17510.
- Um, J. & Thurber, C.H., 1987. Afast forward algorithm for two-point seismic ray tracing, *Bull. seism. Soc. Am.*, 77(3), 972–98
- Waldhauser, F. 2001. HypoDD— A program to compute double difference hypocenter locations, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.* 2001-113.

- Waldhauser, F., & Ellsworth, W. L., 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 90, 1353–1368, doi: 10.1785/0120000006.
- Widiyantoro, S., Gunawan, E., Muhari, A., Mori, J., Hanifa, N. R., Susilo, S., Supendi, P., Shiddiqi, H., Nugraha, A. D., Putra, H. E., 2020. Implications for megathrust earthquakes and tsunamis from seismic gaps south of Java Indonesia, 2020, *Sci. Rep*, 10:15274, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72142-z>
- Widiyantoro, S., Ramdhan, M., Métaxian, J. –P., Cummins, P. R., Martel, C., Erdmann, S., Nugraha, A. D., Santoso, A. B., Laurin, A., Fahmi, A. A., 2018. Seismic imaging and petrology explain highly explosive eruptions of Merapi Volcano, Indonesia, *Sci. Rep*, 2018, Vol 8, 13656, DOI:10.1038/s41598-018-31293-w
- Widiyantoro, S., & R. Van Der Hilst., 1997. Mantle structure beneath Indonesia inferred from high-resolution tomographic imaging, *Geophys. J. Int.* 130, 167–182.
- Widiyantoro, S., and R. Van Der Hilst., 1996. Structure and evolution of lithospheric slab beneath the Sunda arc, Indonesia, *Science* 271, 1566–1570.
- Yudistira, T., Metaxian, J.-P., Putriastuti, M., Widiyantoro, S., Rawlinson, N., Beauducel, F., Zulfakriza, Z., Nugraha, A. D., Luarin, A., Fahmi, A. A., Budi-Santoso, A., 2021. Imaging of a Magma System Beneath the

Merapi Volcano Complex, Indonesia, using Ambient Seismic Noise Tomography. *Geophys. J. Int.*, 2021, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab104>.

Zulfakriza, Z., Saygin, E., Cummin, P. R., Widiyantoro, S., Nugraha, A.D., Lühr, B.-G, & Bodin, T., 2014. Upper crustal structure of central Java, Indonesia, from transdimensional seismic ambient noise tomography, *Geophys. J. Int.*, Vol.197, 1, 630-635, 2014, <https://doi.org/10.1093/gji/ggu016>

Zulfakriza, Z., Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., Cummins, P. R., Sahara, D. P., Rosalia, S., Priyono, A., Kasbani, K., Syahbana, D. K., Priambodo, I. C., Martanto, M., Ardianto, A., Husni, Y. M., Lesmana, A., Kusumawati, D., Prabowo, B. S., 2020. Tomographic Imaging of the Agung-Batur Volcano Complex, Bali Indonesia, from the Ambient Seismic Noise Field, *Front. Earth Sci.*, 2020, <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00043>

Zhang, H., & Thurber, C. 2003. Double-difference tomography: The method and its application to the Hayward fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 93, 1875–1889.

CURRICULUM VITAE



Nama : **Prof. Dr. ANDRI DIAN
NUGRAHA, S.Si., M.Si**

Tmpt./tgl lahir : Ciamis, 8 September 1978

Kel. Keahlian : Geofisika Global

Alamat Kantor : Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan & Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Gedung BSC-B Lantai 2, Jalan Ganesa 10, Kota Bandung, 40132, Jawa Barat

Nama Istri : Erlis Dini, S.E

Nama Anak : 1. Khawarizmi Altamis Nugraha
2. Almahyra Azahra Nugraha

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Doctor of Science (Dr.Sc.), bidang Seismologi, Kyoto University, Jepang, 2009
- Master of Science (M.Si), bidang Seismologi, Institut Teknologi Bandung, 2005
- Sarjana Sains (S.Si), Geofisika (GM), Institut Teknologi Bandung, 2002

II. RIWAYAT KERJA di ITB

- Staf Pengajar Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, 2009-Sekarang
- Direktur Pendidikan Non Reguler, ITB, 2020-Sekarang
- Ketua Program Studi Magister & Doktor Teknik Geofisika, ITB, 2018-2020
- Ketua Program Studi Sarjana Teknik Geofisika, FTTM ITB, 2015-2017
- Ketua Laboratorium Vulkanologi dan Panas Bumi, Teknik Geofisika, FTTM, ITB, 2016-2020.

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- CPNS, III/c, Penata, 1 Desember 2009
- Penata Tk. 1, III/d, 1 Oktober 2016
- Pembina, IV/a, 1 Oktober 2018

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Lektor, 1 Nopember 2011
- Lektor Kepala, 1 April 2016 (598 kum)
- Profesor/Guru Besar, 1 Desember 2019 (1.082,92 kum)

V. KEGIATAN PENELITIAN

- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Zulfakriza (ITB), David P Sahara

(ITB), Firman Syaifuddin (ITS), Nova Heryandoko (BMKG); Studi Seismisitas dan *Ambient Noise Tomography* Sesar Lembang Menggunakan Jaringan Stasiun Seismik Lokal Temporal ITB dan Regional BMKG, 2021.

- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Shindy Rosalia (ITB), Zulfakriza (ITB), Martanto (PVMBG); *Towards Forecasting Eruptions at Indonesian Volcanoes Using Machine Learning of Volcano Seismic Data*, 2021-2022.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), David P Sahara (ITB), Zulfakriza (ITB); Geotomografi untuk Delineasi Struktur Seismik di Zona Tektonik Aktif dan Gunungapi sebagai Usaha Mitigasi Bencana Gempa di Indonesia, 2021-2022.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Zulfakriza (ITB), Sri Widiyantoro (ITB); Tomografi waktu tempuh resolusi tinggi untuk mencitrakan struktur seismik 3-D di zona sumber gempa Lombok 2018, 2019-2021.
- Sri Widiyantoro (ITB), **Andri Dian Nugraha** (ITB), David P Sahara (ITB), Zulfakriza (ITB), Irwan Meilano (ITB), Asep Saepuloh (ITB), Eddy Sucipta (ITB), Endra Gunawan (ITB); *Integrated Geoscience Studies for Volcanic Hazard Mitigation of Mt. Agung, Bali, Indonesia*, 2018-2021.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Pepen Supendi (BMKG); Pencitraan Tomografi Kerak Dan Mantel Bumi di Zona Transisi Busur Sunda-

Banda Menggunakan Data Jaringan Stasiun Seismik USC dan BMKG, 2020.

- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Zulfakriza (ITB), Shindy Rosalia (ITB); Penentuan struktur seismik dangkal di zona gempa Lombok 2018 dengan tomografi ambient noise menggunakan jaringan seismik lokal ITB, 2019.
- Nanang T Puspito (ITB), David P Sahara (ITB), **Andri Dian Nugraha** (ITB), Zulfakriza (ITB); Analisis gempa swarm di gunung Agung, Bali berdasarkan penentuan dan relokasi hiposenter serta mekanisme fokus gempa.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Sri Widiyantoro (ITB), Pepen Supendi (BMKG); Identifikasi sesar aktif di Pulau Jawa berdasarkan seismisitas untuk usaha mitigasi bencana gempa, 2017.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Sri Widiyantoro (ITB); Analisis seismisitas dan struktur bawah permukaan di Indonesia timur sebagai usaha untuk mitigasi bencana gempa, 2015-2016.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Sri Widiyantoro (ITB); Tomografi *shear wave splitting* menggunakan data mikroseismik di eksplorasi geotermal, 2014.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Sri Widiyantoro (ITB); *P-wave Velocity Structure beneath Eastern of Java and Bali regions Derived from Travel Time Tomography*, 2014.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Fatkhan (ITB); Seismik interferometri

untuk mencitrakan *reflector* bawah permukaan menggunakan data noise seismik; 2013.

- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Sri Widiyantoro (ITB); *Subsurface seismic structure imaging inferred from local earthquake tomography in the western of Java regions*, 2013.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB); *Estimation of subduction zone thermal structure using shear wave attenuation data*, 2012.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Sri Widiyantoro (ITB); Tomografi *double difference* untuk pencitraan struktur bawah permukaan gunungapi dan relokasi hiposenter gempa vulkanik-tektonik, 2011.
- **Andri Dian Nugraha** (ITB), Sri Widiyantoro (ITB), Awali Priyono (ITB); Pencitraan struktur seismik di bawah Gn. Guntur menggunakan inversi simultan tomografi dan relokasi hiposenter. 2010.

VI. PUBLIKASI

- **Andri Dian Nugraha**, Supendi, P., Rosalia, S., Sahara, D. P., Muhari, A., Priyono, A., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Daryono, D., Prayitno, B., Sadly, M., Karnawati, D., Puspito, N. T., Harisandi, A., Elly, E., Local Earthquake Tomography to Investigate Fault Geometry Causing the Mw 6.5 September, 2019 Earthquake in Ambon, Indonesia, *Geophysical Research Letters*, 2021. (Q1 Scimago) (*Under Review*).

- Lythgoe, K. H., Muzli, M., Bradley, K., Wang, T., **Andri Dian Nugraha**, Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Wei, S., Thermal squeezing of the seismogenic zone controlled rupture of the volcano-rooted Flores Thrust, *Science Advances*, 2021. Vol. 7, no. 5, eabe2348, DOI:10.1126/sciadv.abe2348 (Q1 Scimago).
- Ardianto, A., **Andri Dian Nugraha**., Afif, H., Syahbana, D. K., Sahara, D. P., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Priyono, A., Rosalia, S., Saepuloh, A., Kasbani, K., Muttaqy, F., Puput, P. R., Imam, C. P., Martanto, M., Imaging the subsurface structure of Mount Agung in Bali (Indonesia) using volcano-tectonic (VT) earthquake tomography, *Frontiers in Earth Science*, 2021. doi: 10.3389/feart.2021.619587, 9, 619587 (Q1 Scimago).
- Sahara, D. P., **Andri Dian Nugraha**, Muhari, A., Rusdin, A. A., Rosalia, S., Priyono, A., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Puspito, N. T., Lesmana, A., Kusumawati, D., Ardianto, A., Baskara, A. W., Halauwet, Y., Shiddiqi, H. A., Rafie, M. T., Rietbrock, A., Pradisti, R., Mozef, P. W., Tuakia, M. Z., Elly, E., Source Mechanism and Triggered Large Aftershocks of the Mw 6.5 Ambon, Indonesia Earthquake, *Tectonophysics*, 2021, 799, 228709, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228709>, 799, 228709 (Q1 Scimago).
- Rafie, M. T., Cummins, P. R., Sahara, D. P., Widiyantoro, S., Triyoso, W., **Andri Dian Nugraha**, Variations in Forearc Stress and Changes in Principle Stress Orientations Caused by the 2004–2005

Megathrust Earthquakes in Sumatra, Indonesia, *Frontiers in Earth Science*, 2021. 10.3389/feart.2021.712144, 9, 712144 (Q1 Scimago).

- Afif, H., **Andri Dian Nugraha**., Muzli, M., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Z., Wei, S., Sahara, D. P., Riyanto, A., Puspito, N. T., Priyono, A., Sasmi, A. T., Supendi, P., Ardianto, A., Syahbana, D. K., Tomography of the Source Area of the 2018 Lombok Earthquakes, Indonesia, from Local Seismograph Networks, *Geophysical Journal International*. 2021, 10.1093/gji/ggab189, 226, 3, 1814-1823 (Q1, Scimago).
- Sarjan, A. F., Zulfakriza, Z., **Andri Dian Nugraha**, Rosalia, S., Wei, S., Widiyantoro, S., Cummins, P. R., Muzli, M., Sahara, D. P., Puspito, N.T., Delineation of Subsurface Structure Beneath 2018 Lombok Earthquake Zone, Indonesia Using Ambient Seismic Noise Tomography, *Frontiers in Earth Science*, 2021, doi: 10.3389/feart.2021.560428, 9, 560428 (Q1 Scimago).
- Priyono, A., **Andri Dian Nugraha**, Muzli, M., Ardianto, A., Aulia, A. N., Prabowo, B. S., Zulfakriza, Z., Rosalia, S., Sasmi, A. T., Afif, H., Sahara, D. P., Widiyantoro, S., Wei, S., Husni, Y. M., Sarjan, A. F. N., Seismic Attenuation Tomography from 2018 Lombok Earthquakes, Indonesia, *Frontiers in Earth Science*, 2021, doi: 10.3389/feart.2021.639692, 9, 639692 (Q1, Scimago).
- Kusumawati, D., Sahara, D. P., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Muzli, M., Imran, I., Puspito, N. T., Zulfakriza, Fault Instability and Its Relation to Static Coulomb Failure Stress

Change in The 2016 Mw 6.5 Pidie Jaya Earthquake, Aceh, Indonesia, *Frontiers in Earth Science*, 2021, doi:10.3389/feart.2020.559434, 8, 559434 (Q1, Scimago).

- Yudistira, T., Metaxian, J.-P., Putriastuti, M., Widiyantoro, S., Rawlinson, N., Beauducel, F., Zulfakriza, Z., **Andri Dian Nugraha**, Luarin, A., Fahmi, A. A., Budi-Santoso, A., Imaging of a Magma System Beneath the Merapi Volcano Complex, Indonesia, using Ambient Seismic Noise Tomography. *Geophysical Journal International*, 2021, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab104>. (Q1, Scimago).
- Sahara, D. P., Puput, P. R., **Andri Dian Nugraha**., Syahbana, D. K., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Z., Ardianto, A., Baskara, A. W., Rosalia, S., Martanto, M., Afif, H., Use of Local Seismic Network in Analysis of Volcano-Tectonic (VT) Events Preceding the 2017 Agung Volcano Eruption, *Frontiers in Earth Science*, 2021, 10.3389/feart.2021.619801, 9, 619801 (Q1 Scimago).
- Sahara, D. P., Puput, P. R., **Andri Dian Nugraha**., Syahbana, D. K., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Z., Ardianto, A., Baskara, A. W., Rosalia, S., Martanto, M., Afif, H., Use of Local Seismic Network in Analysis of Volcano-Tectonic (VT) Events Preceding the 2017 Agung Volcano Eruption, *Frontiers in Earth Science*, 2021, 10.3389/feart.2021.619801, 9, 619801 (Q1 Scimago).
- Supendi, P, Ramdhan, M., Priyobudi, Sianipar, D., Wibowo, A., Gunawan, M, T., Rohadi, S., Riama, N. F., Daryono, Prayitno, B. S.,

Murjaya, J., Karnawati, D., Meilano, I., Rawlinson, N., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Marliyani, G. I., Palgunadi, K. H., Elsera, E. M., Foreshock-mainshock-aftershock sequence analysis of the 14 January 2021 (Mw 6.2) Mamuju-Majene (West Sulawesi, Indonesia) Earthquake, *Earth, Planets and Space*. 2021, 10.1186/s40623-021-01436-x, 73, 1, 106. (Q1, Scimago).

- Hidayat, H., **Andri Dian Nugraha**, Priyono, A., Marjiyono, M., Setiawan, J. H., Sahara, D. P., Winardhi, S., Zulfakriza, Z., Rosalia, S., Lelono, E. B., Permana, A. K., Setiawan, A., Travel time tomography to delineate 3-D Regional Seismic Velocity Structure in the Banyumas Basin, Central Java, Indonesia, using Dense Borehole Seismographic Stations, *Frontiers in Earth Science*, 2021. 10.3389/feart.2021.639271, 9, 639271. (Q1 Scimago).
- Setiawan, A., Zulfakriza, Z., **Andri Dian Nugraha**, Rosalia, S., Priyono, A., Widiyantoro, S., Sahara, D. P., Marjiyono, M., Setiawan, J. H., Lelono, E. B., Permana, A. K., Hidayat, H., Delineation of Sedimentary Basin Structure beneath the Banyumas Basin, Central Java, Indonesia, Using Ambient Seismic Noise Tomography, *Geoscience Letters*. 2021. <https://doi.org/10.1186/s40562-021-00202-x>, 8:31 (Q1 Scimago).
- Sahara, D. P., **Andri Dian Nugraha**, Muhari, A., Rusdin, A. A., Rosalia, S., Priyono, A., Zulfakriza, Z., Widiyantoro, S., Puspito, N. T., Lesmana, A., Kusumawati, D., Ardianto, A., Baskara, A. W., Halauwet, Y., Shiddiqi, H. A., 2019 Ambon aftershocks catalogue

data compiled using local and regional seismic networks, 2021, *Data in Brief*, 34, 106728, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106728>, 34, 106728 (Q4 Scimago).

- Widiyantoro, S., Gunawan, E., Muhari, A., Mori, J., Hanifa, N. R., Susilo, S., Supendi, P., Shiddiqi, H., **Andri Dian Nugraha**, Putra, H. E., Implications for megathrust earthquakes and tsunamis from seismic gaps south of Java Indonesia, 2020, *Scientific Reports*, 10:15274, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72142-z>. (Q1 Scimago).
- Harsuko, M. R. C., Zulfakriza, Z., **Andri Dian Nugraha**, Sarjan, A. F., Widiyantoro, S., Rosalia, S., Puspito, N. T., Sahara, D.P., Investigation of Hilbert-Huang Transform and Fourier Transform for Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio Analysis: Understanding the Shallow Structure in Mataram City, Lombok, Indonesia, *Frontiers in Earth Science*. 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00334>. (Q1 Scimago).
- Sasmi, A. T., **Andri Dian Nugraha**, Muzli, M., Widiyantoro, S., Zulfakriza, Z., Wei, S., Sahara, D. P., Riyanto, A., Puspito, N. T., Priyono, A., Afif, H., Supendi, P., Daryono, D., Ardianto, Syahbana, D. K., Husni, Y. M., Prabowo, B.S., Sarjan, A. F. N. Hypocenter and Magnitude Analysis of Aftershocks of the 2018 Lombok, Indonesia, Earthquakes Using Local Seismographic Networks, *Seismological Research Letters*, 2020, 91(4):2152-2162, <https://doi.org/10.1785/0220190348>. (Q1 Scimago).

- Supendi, P., **Andri Dian Nugraha**, Widiyantoro, S., Abdullah, C.I., Rawlinson, N., Cummins, P. R., Harris, C. W., and Miller, M. S., Fate of Forearc Lithosphere at Arc-Continent Collision Zones: Evidence From Local Earthquake Tomography of the Sunda-Banda Arc Transition, Indonesia, *Geophysical Research Letters*, 2020, <https://doi.org/10.1029/2019GL086472>. (Q1 Scimago).
- Zulfakriza, Z., **Andri Dian Nugraha**, Widiyantoro, S., Cummins, P. R., Sahara, D. P., Rosalia, S., Priyono, A., Kasbani, K., Syahbana, D. K., Priambodo, I. C., Martanto, M., Ardianto, A., Husni, Y. M., Lesmana, A., Kusumawati, D., Prabowo, B. S., Tomographic Imaging of the Agung-Batur Volcano Complex, Bali Indonesia, from the Ambient Seismic Noise Field, *Frontiers in Earth Science*, 2020, <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00043>. (Q1, Scimago).
- Supendi, P., **Andri Dian Nugraha**, Widiyantoro, S., Pesicek, J., Clifford, T., Chalid, A., Daryono, Wiyono, S., Shiddiqi, H., Rosalia, S., Relocated aftershocks and background seismicity in eastern Indonesia shed light on the 2018 Lombok and Palu earthquake sequences, *Geophysical Journal International*, 221, 1845–1855, 2020, doi:10.1093/gji/ggaa118. (Q1, Scimago).
- Rosalia, S., Cummins, P., Widiyantoro, S., Yudistira, T., **Andri Dian Nugraha**, Hawkins, R., Group velocity maps using subspace and transdimensional inversions: ambient noise tomography in the western part of Java, Indonesia, *Geophysical Journal International*, 220, 1260–1274, 2020, <https://doi.org/10.1093/>

gji/ggz498. (Q1, Scimago).

- Gunawan, M. T., Kusnandar, R., Supendi, P., **Andri Dian Nugraha**, Puspito, N. T., Daryono, Sahara, D. P., Zulfakriza., Analysis of swarm earthquakes around Mt. Agung Bali, Indonesia prior to November 2017 eruption using regional BMKG network, *Geoscience Letters*, 2020, 7:14, <https://doi.org/10.1186/s40562-020-00163-7>. (Q1, Scimago).
- **Andri Dian Nugraha**, Indrastuti, N., Kusnandar, R., Gunawan, H., McCausland, W., Joint 3-D tomographic imaging of Vp, Vs and Vp/Vs and hypocenter relocation at Sinabung volcano, Indonesia from November to December 2013. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 382, 210-223, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.09.018>. (Q1, Scimago).
- Gusman, A. R., Supendi, P., **Andri Dian Nugraha**, Power, W., Latief, H., Sunendar, H., Widiyantoro, S., Daryono, Wiyono, S. H., Hakim, A., Muhari, A., Wang, X., Burbidge, D., Palgunadi, K., Hamling, I., Daryono, M. R., Source Model for the Tsunami inside Palu Bay Following the 2018 Palu Earthquake, Indonesia, *Geophysical Research Letters*, 46, 2019, <https://doi.org/10.1029/2019GL082717>. (Q1, Scimago).
- Supendi, P., **Andri Dian Nugraha**, Widiyantoro, S., Abdullah, C. I., Puspito, N. T., Palgunadi, H., Daryono, Wiyono, S. H., Hypocenter relocation of the aftershock of the Mw 7.5 Palu earthquake (Sept 28, 2018) and Swarm Earthquakes of Mamasa,

Central Sulawesi, Indonesia, Using the BMKG Network Data, *Geoscience Letters*, 2019, 6:8, <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0148-9>, 2019. (Q1, Scimago).

- Basuki, A., **Andri Dian Nugraha**, Hidayati, S., Triastuty, H., Determination of Hypocentre and Seismic Velocity Structure in Guntur Volcano Using Seismic Data from 2010 to 2014, *Indonesian Journal on Geoscience*. 2019, Vol 6, No 3, <https://ijog.geologi.esdm.go.id/index.php/IJOG/article/view/516>. (Q3, Scimago).
- Kusumawati, D., Sahara, D. P., **Andri Dian Nugraha**, Puspito, N. T., Sensitivity of static Coulomb stress change in relation to source fault geometry and regional stress magnitude: Case study of the 2016 Pidie Jaya, Aceh earthquake (Mw = 6.5), *Indonesia, Journal of Seismology*, 2019, doi:10.1007/s10950-019-09878-3. (Q2, Scimago).
- Indrastuti, N., **Andri Dian Nugraha**, McCausland, W., Hendrasto, M., Gunawan, H., Kusnandar, R., Kasbani, Kristianto., 3-D Seismic Tomographic study of Sinabung Volcano, Northern Sumatra, Indonesia, during the inter-eruptive period October 2010 - July 2013, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.03.001>. (Q1, Scimago).
- Ramdhan, M., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Metaxian, J-P., Saepuloh, A., Kristiyawan, S., Sembiring, A. S., Santoso, A. B., Laurin, A., Detailed seismic imaging of Merapi volcano, Indonesia, from local earthquake travel-time tomography, *Journal*

of *Asian Earth Sciences*, 177, 134-145, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.03.018>. (Q1, Scimago).

- Septyana, T., **Andri Dian Nugraha**, Widiyantoro, S., Supriyono., Multi-channel waveform clustering: A first look at microseismic multiplets from coalbed methane stimulation, *Geoscience Letters*, 2019, (2019) 6:7, <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0137-z> (Q1, Scimago).
- Ry, R. V., Septyana, T., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Ardjuna, A., Borehole Microseismic Imaging of Hydraulic Fracturing: A Case Study on a Coal Bed Methane Reservoir in Indonesia, *J. Eng. Technol. Sci.*, Vol. 51, No.2, (2019), 251-271 251. (Q2, Scimago).
- Rosalia, S., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Supendi, P., Double-difference Tomography of P-and S-wave velocity Structure beneath the Western Part of Java, Indonesia, *Earthquake Science*, 32: 12–25. 2019, doi: 10.29382/eqs-2019-0012-2 (Q3, Scimago).
- Widiyantoro, S., Ramdhan, M., Métaxian, J. –P., Cummins, P. R., Martel, C., Erdmann, S., **Andri Dian Nugraha**, Santoso, A. B., Laurin, A., Fahmi, A. A., Seismic imaging and petrology explain highly explosive eruptions of Merapi Volcano, Indonesia, *Scientific Reports*, 2018, Vol 8, 13656, DOI:10.1038/s41598-018-31293-w. (Q1, Scimago).

- **Andri Dian Nugraha**, Shiddiqi, H. A., Widiyantoro, S., Thurber, C. H., Pesicek, J. D., Wiyono, S. H., Ramdhan, M., Wandono, Irsyam, M., 2018. Hypocenter relocation along the Sunda arc in Indonesia, using a 3D seismic velocity model, *Seismological Research Letters*, 89, 2A, 603-612, 2018, doi: 10.1785/0220170107, (Q1, Scimago).
- Supendi, P., **Andri Dian Nugraha**, Puspito, N. T., Widiyantoro, S., and Daryono, Identification of active faults in West Java, Indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis, *Geoscience Letters*, 2018, 5:31, <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0130-y>, (Q1, Scimago).
- Muzli, Umar, M., **Andri Dian Nugraha**, Bradley, K. E., Widiyantoro, S., Erbas, K., Jousset, P., Nurdin, I., Wei, S., The 2016 Mw 6.5 Pidie Jaya, North Sumatra Earthquake, Reactivation of An Unidentified Sinistral Fault in a Distributed Deforming Region, *Seismological Research Letters*, 2018, Vol.89, 1761-1772. doi:10.1785/0220180068 (Q1, Scimago).
- Santoso, D., Wahyudi, E. J., Kadir, W. G. A., Alawiyah, S., **Andri Dian Nugraha**, Supendi, P., and Parnadi, P., Gravity structure around Mt. Pandan, Madiun, East Java, Indonesia and Its relationship to 2016 seismic activity, *Open Geoscience*, 2018, 10:882–888, <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0069>. (Q3, Scimago).
- Ramdhan, M., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Métaxian, J.P., Saepuloh Asep, Kristiyawan, S., Sembiring, A. S., Santoso, A.

- B., Alurin, A., Fahmi, A. A., Relocation of hypocenters from DOMERAPI and BMKG networks: a preliminary result from DOMERAPI Project, 2017, *Earthquake Science*, pp 1-13, doi:10.1007/s11589-017-0178-3. (Q3, Scimago).
- Fahrudin, Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Afnimar, Search for mantle seismic discontinuities beneath northern Kalimantan, central Indonesia: A preliminary result of employing SS precursors, *International Journal of Tomography & Simulation*, Vol. 30, 1, 96-104, 2017. (Q3, Scimago).
 - Koesuma, S., Ridwan, M., **Andri Dian Nugraha**, Widiyantoro, S., Fukuda, Y., Preliminary Estimation of Engineering Bedrock Depths from Microtremor Array Measurements in Solo, Central Java, Indonesia, *J. Math. Fund. Sci.*, Vol. 49, No. 3, 2017, 306-320. 2017 (Q3, Scimago).
 - Mujihardi, B., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Widarto, D. S., Sukotjo, A., Conceptual Reservoir Model of Kamojang Geothermal Field, West Java, Indonesia, Based on V_p , V_s and V_p/V_s , *International Journal of Tomography & Simulation*, 2017, Vol 30, No 4, 41-53. (Q3, Scimago).
 - Zulfakriza, Z., Saygin, E., Cummin, P. R., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, Lühr, B.-G, & Bodin, T., Upper crustal structure of central Java, Indonesia, from transdimensional seismic ambient noise tomography, *Geophysical Journal International*, Vol.197, 1, 630-635, 2014. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu016> (Q1, Scimago).

- **Andri Dian Nugraha**, Widiyantoro, S., Gunawan, A., & Suantika, G., Seismic velocity structures beneath the Guntur volcano complex, West Java, derived from simultaneous tomographic inversion and hypocenter relocation, *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, Vol. 45A, No. 1, 2013. (Q3, Scimago).
- **Andri Dian Nugraha**, Mori, J., Ohmi, S., & Shibutani, T., High resolution seismic velocity structure around the Yamasaki fault zone of southwest Japan as revealed from travel-time tomography, *Earth. Planets & Space*, 65, 871-881, 2013. (Q1, Scimago).
- Rohadi, S., Widiyantoro, S., **Andri Dian Nugraha**, & Masturyono, Tomographic Imaging of P-and S-wave Velocity Structure Beneath Central Java, Indonesia: Joint Inversion of the MERAMEX and MCGA Earthquake Data, *International Journal of Tomography & Simulation*, Vol 24, No 3, 2013. (Q3, Scimago).
- Fatkhan, **Andri Dian Nugraha**, & Syahputra, A., Determining velocity and Q-factor using crosshole tomography, *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, Vol. 45A, No. 1, 2013. (Q3, Scimago).
- Afnimar, **Andri Dian Nugraha**, & Syahputra, A., Development of an inversion method for low velocity medium, *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, Vol. 45A, No. 1, 2013. (Q3, Scimago).
- Priyono, A., Suantika, G., Widiyantoro, S., and **Andri Dian**

Nugraha, three-dimensional seismic attenuation structure of Mt. Guntur, West Java, Indonesia. *International Journal of Tomography and Statistic*, Vol. 17, No. S11, 2011. (Q3, Scimago).

- **Andri Dian Nugraha**, Mori, J., & Ohmi, S., Thermal Structure of the Subduction Zone in Western Japan derived from Seismic Attenuation Data, *Geophysical Research Letters*, Vol 37, L06310, doi:10.1029/2009GL041522, 2010. (Q1, Scimago).
- **Andri Dian Nugraha**, and Mori, J., Three-dimensional velocity structure in the Bungo channel and Shikoku area, Japan, and its relationship to low-frequency earthquakes, *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L24307, doi:10.1029/2006GL028479, 2006. (Q1, Scimago).

VII. PENGHARGAAN

- Penghargaan ITB Bidang Karya Inovasi 2017. Institut Teknologi Bandung.
- Peringkat 3 Dosen Berprestasi Tingkat Nasional 2015. Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia.
- Peringkat 1 Akademisi Berprestasi ITB 2015. Institut Teknologi Bandung
- HAGI Award for Young and Bright Contribution in Geophysics 2013. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI)

VIII. SERTIFIKASI

- Sertifikasi Insinyur, Program Studi Program Profesi Insinyur, ITB, 2020
- Sertifikasi Dosen Profesional, 2012. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia

