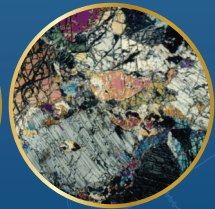
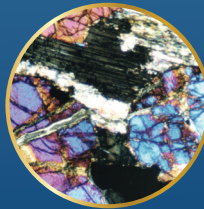
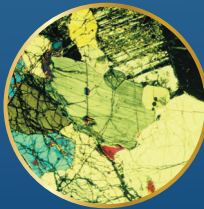
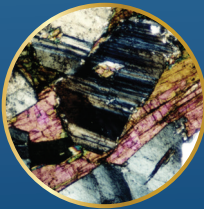
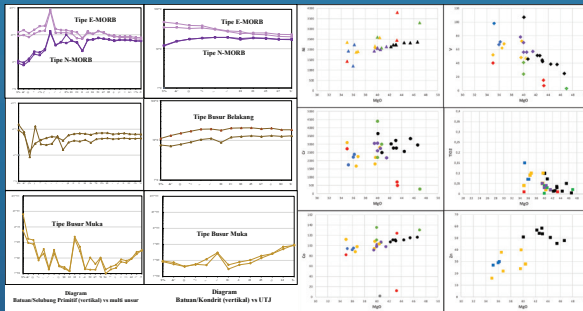


ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG GEOLOGI

PEMANFAATAN HASIL RISET KEPINGAN KERAK SAMUDRA PURBA DALAM PERSPEKTIF DINAMIKA KERAK BUMI AKTUAL



OLEH:

HARYADI PERMANA

LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 1 SEPTEMBER 2021

PEMANFAATAN HASIL RISET
KEPINGAN KERAK SAMUDRA PURBA
DALAM PERSPEKTIF DINAMIKA
KERAK BUMI AKTUAL

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

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG GEOLOGI**

**PEMANFAATAN HASIL RISET
KEPINGAN KERAK SAMUDRA PURBA
DALAM PERSPEKTIF DINAMIKA
KERAK BUMI AKTUAL**

OLEH:

HARYADI PERMANA

**LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
JAKARTA, 1 SEPTEMBER 2021**

© 2020 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Geoteknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pemanfaatan Hasil Riset Kepingan Kerak Samudra Purba dalam Perspektif Dinamika Kerak Bumi Aktual /Haryadi Permana. Jakarta – LIPI Press, 2021.

xi +76 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-602-496-250-0 (cetak)
978-602-496-249-4 (e-book)

1. Kerak Samudra Purba
3. Petrologi-Geokimia

2. Ofiolit

306.6598

Copy editor : Sarwendah Puspita Dewi
Proofreader : Risma Wahyu Hartiningsih
Penata Isi : Meita Safitri
Desainer Sampul : Laura Citra Zhahira

Cetakan : September 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



Haryadi Permana, lahir di Cirebon, 21 September 1960, merupakan anak ketiga dari Bapak Ahmad Zain (rahimahullah) dan Ibu Retna Djuwariah (rahimahallah) dan ibu sambung, Nawang Wulan (rahimahallah). Menikah dengan Dedeh Siti Hodijah dan dikaruniai satu orang anak, yaitu Andes Pratama.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 29/M Tahun 2018, tanggal 7 Mei 2018 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama terhitung mulai 7 Mei 2018.

Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia No. 172/A/2021 tanggal 19 Agustus 2021 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan pidato Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri IV Kadipaten Majalengka tahun 1972, Sekolah Menengah Pertama Negeri Kadipaten Majalengka tahun 1975, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 2 Cirebon tahun 1979. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Geologi dari ITB tahun 1986, gelar Magister DEA/S2 “Geosciences Marines” dari L’Université de Bretagne Occidental (West Britain University) Brest tahun 1995, dan gelar Doktor bidang Geologie, Pétrologie Métamorphique et Structural, Faculte des Sciences et des Techniques, L’Université de Nantes (Nantes University), Nantes, Perancis tahun 1998.

Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensinya, antara lain 1) *Short course of Cross Section Res-*

toration di Geologi ITB, Bandung tahun 1993; 2) Dakar-Brest (France) *Cruise training* di RV L'Atalante (tahun 1995); 3) JSPS *Scientist Exchange* di Ocean Research Institute, Tokyo (Januari–Maret 2000).

Mulai bekerja di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia/Puslit Geoteknologi sejak tahun 1987. Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Pejabat Sementara (Pjs.) Kepala Seksi Pemetaan dan Sarana Penelitian Geodinamika, Balai Penelitian dan Pengembangan Geodinamika, Puslitbang Geoteknologi LIPI (1991–1993), Kepala Bidang Dinamika Bumi dan Bencana Geologi (2001–2006), dan Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI (2011–2016).

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Asisten Peneliti Muda golongan III/a tahun 1989, Asisten Peneliti Madya golongan III/a tahun 1992, Ajun Peneliti Muda golongan III/b tahun 1994, Ajun Peneliti Muda golongan III/c tahun 1996, Ajun Peneliti Muda golongan III/d tahun 1999, Peneliti Muda golongan III/d tahun 2002, Peneliti Ahli Madya golongan IV/a tahun 2002, Peneliti Ahli Madya golongan IV/b tahun 2008, Peneliti Ahli Madya golongan IV/c tahun 2013, memperoleh jabatan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Geologi (04.01), Tektonik (04.01.07) tahun 2018.

Telah menghasilkan publikasi sebanyak 106 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sejumlah 56 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, dan 50 dalam bahasa Indonesia.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, di antaranya sebagai pembimbing skripsi (S1) di Universitas Padjadjaran (1 mahasiswa/2001–2003/2017–2018; 3 mahasiswa/2017–2019) dan pembimbing disertasi (S3) di Institut Teknologi Bandung (1 mahasiswa/2010–2015); di Universitas Padjadjaran (2

mahasiswa sejak 2018); di Universitas Padjadjaran (1 mahasiswa sejak 2019); di Universitas Gajah Mada (1 mahasiswa sejak 2020), serta penguji tesis (S2) di Institut Pertanian Bogor (1 mahasiswa/2016); penguji disertasi (S3) di Institut Teknologi Bandung (1 mahasiswa/2011 dan 1 mahasiswa/2012) dan penguji disertasi kandidat S3 di Universitas Padjadjaran (2 mahasiswa/terdaftar pada 2020).

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, antara lain sebagai anggota Ikatan Ahli Geologi-IAGI (NPA: 01892B) (berlaku sampai 2021), dan Himpunan Peneliti Indonesia-HIMPENINDO (no. 8021096001) berlaku sampai 2021.

Menerima berbagai tanda penghargaan tingkat nasional, antara lain Satyalancana Karya Satya X Tahun (1999), Satyalancana Karya Satya XX Tahun (2008), Satyalancana Pembangunan (2014), dan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun (2017) dari Presiden RI.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS.....	v
PRAKATA PENGUKUHAN.....	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
II. MENGENAL KERAK SAMUDRA	4
2.1 Jenis Batuan	5
2.2 Komposisi Mineral.....	5
2.3 Fraksinasi Mineral Ekonomis.....	7
2.4 Perkembangan Teknologi Analisis Batuan.....	8
2.5 Teknologi Analisis Batuan di Masa Depan	11
III. JEJAK PETROLOGI DAN GEOKIMIA	12
3.1 Papua dan Maluku	13
3.2 Sulawesi dan Kalimantan.....	15
3.3 Pulau Jawa	17
IV. UMUR DAN ASAL-USUL KEPINGAN KERAK SAMUDRA.....	20
4.1 Pemahaman Umum	20
4.2 Asal-Usul dan Umur.....	20
V. PEMANFAATAN HASIL RISET	23
5.1 Upaya Mitigasi Bencana	23
5.2 Sumber Daya Kerak Samudra	24
5.2.1 Sumber Daya Gunung Api Bawah laut	24
5.2.2 Unsur dan Mineral Ekonomis	24
5.3 Aspek Strategis Kerak Samudra	25
VI. KESIMPULAN	27
VII. PENUTUP	28

UCAPAN TERIMA KASIH	29
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN	42
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	47
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA	62
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	63

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia,

Yth. Plh Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI),

Yth. Kepala Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN)

dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, nikmat, ilmu, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir secara daring dalam situasi pandemi Covid-19 pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

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

**“PEMANFAATAN HASIL RISET KEPINGAN
KERAK SAMUDRA PURBA DALAM PERSPEKTIF
DINAMIKA KERAK BUMI AKTUAL”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Ketertarikan terhadap batuan kerak samudra diawali setelah menyelesaikan kuliah lapangan Karangsambung pada 1982–1983. Pemahaman yang masih samar adalah bagaimana penjelasan kerak samudra yang asalnya berada di kedalaman ribuan meter di bawah permukaan air laut dapat tersingkap, dan diamati di atas daratan. Bagaimana proses terbentuknya? Apa saja jenisnya? Kesempatan melakukan penelitian batuan kerak samudra terbuka setelah mendapatkan kesempatan melaksanakan penelitian untuk skripsi S1 di Pulau Obi¹, Maluku Utara pada September–Desember 1983.

Batuan kerak samudra tersebar mulai dari Sumatra Utara, Pulau Jawa, Kalimantan Selatan, Sulawesi, Halmahera, Pulau Obi¹-Gag, Pulau Gebe, Pulau Seram, Pulau Ambon, Pulau Waigeo, dan Leher Kepala Burung sampai ke bagian barat-utara dan bagian tengah Papua^{2,3,4}. Di Kepulauan Sunda Kecil, batuan kerak samudra tersingkap di Pulau Timor Barat, Alor dan Wetar^{2,3} (Gambar 1). Asia bagian tenggara tersusun oleh kepingan-kepingan kerak benua, kerak samudra, cekungan-cekungan tepian kerak benua^{5,6,7} yang terdiri atas 35 blok⁴ atau 29 blok⁶. Batas-batas kepingan tersebut bisa dirunut mulai dari Zona Woyla yang sekarang ditempati Sesar Sumatra atau Zona Meratus yang melintasi Pulau Jawa sampai ke Kalimantan bagian selatan-timur atau zona batas kepingan Sulawesi barat dan timur^{5,6,7}. Di dalam zona tersebut dijumpai kepingan kerak samudra, batuan metamorfik^{8,9,10} beragam fasies, berafinitas dengan kerak samudra, kerak benua, endapan palung sampai pada batuan busur vulkanik bersama-sama, dikenal sebagai kompleks *mélange* atau *bancuh*¹¹. Kepingan-kepingan kerak samudra diketahui telah menjadi sumber daya logam dasar, seperti nikel, krom, mangan,

besi atau seng, unsur tanah jarang, terutama scandium (Sc), dan unsur dari kelompok platinum.

Pada era 80–90 an, penelitian geologi-petrologi saat itu masih dilakukan secara konvensional, yaitu hanya dengan pemetaan lapangan, pengamatan batuan contoh setangan (*hand specimen*) dan pengamatan dengan peralatan mikroskop. Pada periode waktu yang sama, di Eropa dan Amerika atau Jepang, metode identifikasi batuan kerak samudra telah memanfaatkan ilmu geokimia dan isotop. Dengan teknologi mikroskopi, jenis mineral penyusun batuan bisa dikenali, tetapi tidak sampai mengetahui komposisi kimia batuan. Saat itu, asal-usul batuan ditetapkan berdasarkan kehadiran batuan tertentu dan dianggap sebagai ‘*marker*’, seperti plagiogranit, rijang atau kehadiran mineral spinel kromium atau menurut anggapan umum berdasarkan hasil penelitian sebelumnya. Umur batuan pada saat itu ditetapkan menggunakan umur relatif.

Kesempatan baik adalah tawaran melanjutkan studi S2 dan S3 di Prancis pada tahun 1993 dengan tema penelitian ‘Mengetahui asal mula batuan kerak samudra di Papua Barat atau Irian Jaya’. Studi ini memanfaatkan ilmu geokimia untuk identifikasi jenis batuan serta melacak jejak asal-usul batuan secara lebih akurat. Studi ini juga memanfaatkan teknologi radioisotop K-Ar untuk menentukan umur batuan. Hal ini berimplikasi pada kerangka tektonik di kawasan kajian serta pemanfaatannya.

Kerak samudra sampai saat ini masih terus bergerak, berperan dalam dinamika bumi aktual. Divergensi lempeng (kerak) terjadi sepanjang punggung tengah samudra. Di Indonesia, yang terjadi adalah konvergensi lempeng telah mengakibatkan terbentuknya jalur gempa, deretan gunung-gunung api aktif. Kegiatan gunung api, baik yang berada di daratan atau yang tumbuh di lantai dasar samudra, akibat penipisan kerak samudra

membentuk gunung api bawah laut seperti terjadi di kawasan utara Kepulauan Sangihe^{12,13,14,15} disertai dengan proses mineralisasi dan pengendapan logam-logam ekonomis. Konvergensi kerak (lempeng) dapat menjadi sumber bahaya geologi, tetapi juga mengendapkan sumber daya mineral ekonomis dan di beberapa tempat telah memicu terbentuknya atau tertutupnya cekungan yang di antaranya berpotensi sebagai sumber energi migas.

Indonesia sebagai negara Benua Maritim sangat berkepentingan dengan wilayah lautnya, terutama di ZEE dan di luar batas 200 nm. Wilayah perairan dialasi oleh batuan kerak samudra dan lapisan sedimen yang menutupinya. Pemahaman dan pemanfaatan wilayah perairan, yang saat ini masih dalam tahap awal, sangat bernilai strategis bagi Indonesia, baik dilihat sebagai sumber daya (hayati dan nonhayati) masa depan maupun dari sudut pandang kedaulatan negara perairan (negara Benua Maritim).

II. MENGENAL KERAK SAMUDRA

Punggungan tengah samudra (PTS) adalah sumber utama pembentukan kerak samudra dan selubung bumi baru¹⁶. Punggungan bawah laut ini memisahkan lempeng-lempeng utama dunia yang terdiri atas *East Pacific Rise, Mid-Atlantic Ridge, SW and SE Indian Ocean Ridge, Central Indian Ridge, dan Reykyanes Ridge* (Gambar 2). Kepingan-kepingan kerak samudra umumnya disebut sebagai ofiolit (*ophiolite*)^{16,17,18} yang dapat terbentuk di sepanjang PTS atau dapat juga terbentuk pada lingkungan busur kepulauan atau pada tepian kerak benua^{17,18}. Ofiolit merupakan objek studi untuk mempelajari kerak samudra dan astenosfir purba dan dianggap sebagai *marker* kegiatan tektonik masa lalu¹⁷.

Ofiolit terbentuk dari kegiatan magmatik berupa pelelehan sebagian dari selubung lersolit¹⁶, menghasilkan magma basaltik, yang diinjeksikan ke permukaan sepanjang sumbu PTS atau terbentuk sebagai hasil pelelehan ulang kerak samudra yang tersubduksikan dalam lingkungan busur kepulauan atau terbentuk dalam lingkungan tepian kerak benua. Batuan-batuan ofiolit (Gambar 3), secara ideal dari bawah ke atas disusun oleh^{17,18}

- 1) Kompleks batuan ultramafik;
- 2) Kompleks batuan gabro;
- 3) Kompleks retas batuan mafik, atau diabas dan,
- 4) Kompleks batuan mafik atau vulkanik, umumnya berstruktur bantal.

Pada bagian atas permukaan dasar laut, kerak samudra ditutupi oleh sedimen laut dalam berupa rijang, serpih, lempung dan batu gamping. Sebagai kepingan-kepingan tektonik, batuan-batuan ofiolit sedikit atau banyak telah mengalami deformasi dan/atau metamorfisme. Kepingan ofiolit yang dijumpai umumnya tidak lengkap. Contoh sekuen ofiolit lengkap adalah kompleks *Semail Ofiolit Oman, Vourinos Ophiolite, Yunani, dan Bay of Island Ofiolit, New Foundland*^{17,19}.

2.1 Jenis Batuan

Teknologi identifikasi jenis batuan di Indonesia sampai periode tahun 1980-an masih mengandalkan pengamatan secara mikroskopis. Secara kasat mata, setiap kelompok batuan dalam kompleks ofiolit dapat dibedakan dengan jelas (Gambar 4). Batuan peridotit atau ultramafik disusun oleh mineral mafik (olivin, piroksin) yang kaya dengan unsur Fe dan Mg. Batuan gabro dicirikan oleh munculnya mineral felsik berwarna putih. Batuan ini dicirikan oleh kenampakan belang-belang atau tutul karena pencampuran atau perlapisan mineral mafik (olivin, piroksin) dan felsik (plagioklas, K-felspar). Batuan berwarna terang berasosiasi dengan gabro berlapis adalah retas plagiogranit. Batuan diabas umumnya berupa retas-retas yang memotong batuan gabro atau ultramafik. Batuan disusun oleh mineral mafik dan felsik berbentuk granular dan atau prismatic berukuran halus-sedang dengan struktur batuan khas, yaitu ofitik atau diabasik. Sekuen ofiolit paling atas adalah batuan basal yang dicirikan oleh struktur khas berupa bantal (*pillow*) karena lelehan lava yang mengalir dan mendingin di bawah laut. Batuan disusun oleh mineral mafik dan felsik berukuran halus-sangat halus, umum memperlihatkan struktur aliran mineral. Batuan metamorfik dari berbagai derajat yang berasosiasi dalam kompleks ofiolit adalah sekis hijau, amfibolit sampai granulit, kemudian sekis biru sampai eklogit¹⁹.

2.2 Komposisi Mineral

Batuan mafik-ultramafik secara nomenklatur adalah batuan dengan kandungan silika (SiO_2) <45%–52% berat. Batuan ultramafik disusun oleh mineral berbutir kasar, bilamana mengandung >40% mineral olivin dinamakan sebagai peridotit¹⁹. Klasifikasi batuan ultramafik secara kualitatif^{19,20} berdasarkan petrografi (Gambar 5) adalah sebagai berikut. Dunit adalah batuan

ultramafik yang didominasi oleh mineral olivin. Batuan ultramafik yang disusun oleh olivin + ortopiroksin + klinopiroksin dinamakan Lersolit, sedangkan kandungan harsburgit disusun oleh olivin + ortopiroksin Retas werlit disusun oleh olivin + klinopiroksin, sedangkan websterit dicirikan oleh kandungan ortopiroksen dan klinopiroksen. Bilamana hadir olivin dinamakan sebagai websterit olivin. Batuan ultramafik umumnya telah mengalami proses serpentinisasi, yaitu penambahan unsur H₂O dalam kondisi suhu 475°C–500°C sampai 900°C¹⁷, mengubah mineral olivin dan/atau piroksin menjadi serpentin, seperti antigorit, krisotil atau lisardit.

Mineral tambahan yang penting dalam ultramafik adalah plagioklas, spinel, dan garnet. Mineral-mineral tersebut digunakan sebagai indikator kondisi suhu dan tekanan serta kedalaman sumber magma pada saat batuan peridotit terbentuk²¹. Kehadiran spinel jenis tertentu seperti spinel kromium atau spinel magnesium dapat dijadikan pembeda apakah termasuk tipe peridotit abisal atau tipe peridotit alpen²¹.

Batuan gabro, disusun oleh mineral berukuran kasar (fanerik) hasil pembekuan magma basal secara perlahan di kedalaman bumi. Mineral penyusun dapat membentuk berlapisan maupun berbentuk granular, tergantung cara pembekuannya dalam lingkungan tektonik yang sangat beragam. Mineral utama penyusun gabro adalah klinopiroksin jenis augit dan plagioklas kalsik atau An>50%. Mineral lain dalam gabro adalah enstatit, olivin, kuarsa, hornblende. Berdasarkan nomenklatur IUGS²², batuan plutonik gabro dapat dibedakan menjadi gabro, norit, gabronorit, gabro olivin, anortosit, dan troktolit. Batuan diabas atau dolerite berkomposisi basaltik-gabroik dengan ukuran butir sedang sampai fanerik terbentuk pada bagian tepi dapur magma, dan transisi ke gabro²² umumnya hadir dalam bentuk retas hampir vertikal.

Diabas disusun oleh mineral utama augit dan plagioklas kalsik, dengan tekstur khas diabasik^{19,22}.

Bagian paling luar atau paling atas adalah batuan basal berupa lelehan di permukaan dasar samudra, dicirikan oleh struktur bantal. Secara mineralogi, batuan basal mirip dengan komposisi mineral batuan gabbro, hanya dengan ukuran butir yang umumnya halus (afanitik) disertai tambahan silika gelas karena membeku secara cepat di permukaan bumi. Batuan basal merupakan batuan paling melimpah di permukaan bumi²².

2.3 Fraksinasi Mineral Ekonomis

Kepingan kerak samudra mengandung unsur-unsur logam ekonomis seperti nikel, kobal, krom, skandium, platina, vanadium, titanium, dan magnesium. Batuan kerak samudra yang terbentuk langsung dari selubung bumi atas secara umum dicirikan oleh tingginya kandungan MgO, Ni, Co, dan Cr karena rendahnya proses fraksinasi magma atau karena tingginya proses akumulasi kristal. Hal ini diikuti oleh menurunnya kandungan unsur-unsur nonkompatibel atau LFSE. Sebaliknya, batuan kerak samudra yang terbentuk dari lingkungan busur gunung api dicirikan oleh peningkatan unsur nonkompatibel, pemiskinan kandungan Nb, diikuti dengan peningkatan larutan silika, hidroksida, dan fluida.

Nikel dan kobal sebagai unsur sangat kompatibel terkonsentrasi, terkandung dalam olivin, sedangkan krom (unsur kompatibel) terkandung dalam spinel dan klinopiroksen. Sebaliknya, vanadium dan titanium keduanya merupakan unsur jarang yang sangat kuat terfraksinasi ke dalam oksida Fe-Ti seperti dalam ilmenit atau titanomagnetit.

Tingkat fraksinasi unsur selama terjadinya kristalisasi magma primer dari selubung bumi (*peridotite mantellic*) umumnya terbentuk dalam lingkungan PTS dan kristalisasi dari pelelehan

ulang yang terjadi di dalam lingkungan zona subduksi atau busur gunung api (busur muka-busur belakang) menyebabkan terjadinya perbedaan komposisi mineral penyusun batuan kerak samudra. Perbedaan komposisi tersebut antara lain seperti kandungan TiO_2 (HFSE), MgO , dan unsur *compatible immobile* seperti V, Ni, Cr, Co, dan Zn (unsur jejak). Peridotit selubung bumi Horoman (Hokaido)²³ mewakili batuan yang mendekati karakter geokimia magma primer²³.

2.4 Perkembangan Teknologi Analisis Batuan

Di Eropa, Amerika dan Jepang sejak awal abad ke-20 penelitian batuan magmatik sudah memanfaatkan teknologi kimia batuan dan isotop dalam identifikasi jenis batuan dan asal-usul lingkungan geologi pembentukannya. Hanya dalam kurun waktu sekitar 150 tahun telah berkembang teknik analisis kimia batuan secara akurat. Hal ini diikuti dan ditunjang oleh pengembangan teknologi peralatan analisis batuan yang pada periode 1920–1930 mengandalkan analisis kimia basah bergeser dengan ditemukannya inovasi teknik analisis seperti peralatan *atomic absorption spectroscopy* (AAS), *X-ray fluorescence spectrometry* (XRFS), *colorimeter*, *inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry* (ICP-AES), dan *inductively coupled plasma-multiple spectrometry* (ICP MS), dan elektron probe^{19,22,24}. Inovasi teknologi analisis terus berkembang dengan dikembangkannya *wavelength dispersive spectrometer* (WDS), diikuti *energy dispersive spectrometer-EDS SEM*²⁴.

Dalam ilmu geologi, pemanfaatan unsur utama kurang begitu akurat untuk karakterisasi geokimia dan petrologi batuan karena umumnya tidak stabil selama proses geologi seperti migrasi magma, alterasi, metasomatisme, dan pelapukan. Pada saat sekarang, ilmu geokimia telah memanfaatkan unsur jejak dan unsur tanah jarang yang lebih stabil selama proses geologi.

Kandungan unsur jejak dan unsur tanah jarang dimanfaatkan sebagai karakter spesifik yang menunjukkan sumber dan lingkungan pembentukannya. Kandungan unsur jejak dan unsur tanah jarang yang bersifat ekonomis ini juga mengalami perbedaan, tergantung darimana asal sumber magma terbentuk.

Penamaan batuan atau nomenklatur²⁰ maupun penjelasan proses magmatisme pada awalnya mengandalkan hasil berdasarkan analisis petrografi secara kualitatif dan kuantitatif seperti besar butir, tekstur, dan struktur mineralogi, bergeser dan dilengkapi oleh komposisi kimia batuan¹⁹. Batuan dengan mineralogi berukuran halus-sangat halus seperti andesit, basal dengan mudah dapat diidentifikasi dan ditetapkan nomenklatur atau klasifikasinya dengan teknologi tersebut.

Data unsur utama, unsur jejak, dan unsur tanah jarang¹⁹ lebih dapat menjelaskan magma sumber, proses pembekuan magma, kontaminasi, dan lingkungan tektonik pembentukannya. Berbagai diagram variasi komposisi, baik diagram biner, diagram segitiga serta diagram normalisasi^{16,19,22,24}, menggambarkan relasi antar-unsur dalam batuan, seperti diagram Harker (1909) yang merupakan diagram biner antara oksida versus SiO₂ atau diagram 0.5(Fe+Mg)/K vs Si/K, diagram ALI, hubungan antara CaO, Na₂O+K₂O vs SiO₂ Peacock (1931), diagram NaO₂+K₂O (alkali) vs SiO₂ (TAS) atau vs Al₂O₃; K₂O atau NaO₂ vs SiO₂; diagram K₂O vs NaO₂ atau diagram indeks diferensiasi (DI) (Thornton and Tuttle, 1960)²⁴. Diagram segitiga yang umum dimanfaatkan adalah diagram AFM atau (NaO₂+K₂O)-FeO-MgO₂ untuk mengetahui tipe magma, toelitik atau kalk-alkalin. Unsur-unsur jejak atau tanah jarang yang terkandung dalam batuan seperti Ti, Zr, Y, Nb, dan REE atau V, Cr, dan Ni yang relatif *immobile*, artinya merekam jejak asli magma atau komposisi asal magma maupun lingkungan tektonik pembentukannya walaupun batuan telah mengalami deformasi, metamorfisme,

atau ubahan kimia akibat proses alih tempat dari tempat asalnya ke daerah busur atau kerak benua. Beberapa contoh diagram segitiga antara lain $Nb^*2-Zr/4-Y$; $Ti/40-Si/1000-Sr$ and $Nb^*25-Na/25-Sr$ atau diagram biner V vs Ti^{24} (Gambar 6).

Diagram normalisasi atau diagram multi-unsur, diagram REE atau dikenal sebagai diagram laba-laba (*spider diagram*) adalah diagram yang umum dipergunakan dalam geologi magmatik-vulkanik. Diagram ini membandingkan antara kandungan unsur-unsur tanah jarang batuan dengan kandungan selubung primitif, MORB (basal MOR) atau C1 kondrit²⁵. Diagram multi-unsur diagram laba-laba secara akurat dapat menjelaskan proses magmatisme dan lingkungan tektonik pembentukan batuan, apakah batuan tersebut terbentuk dalam lingkungan PTS, basal pulau samudra (*oceanic island basalt/OIB*) atau busur kepulauan^{16,24,25}. Unsur kimia dalam diagram ini diurutkan berdasarkan kompatibilitas (sumbu mendatar, ke arah kanan diagram) atau sebaliknya, nonkompatibel dibandingkan terhadap unsur standar dari kondrit atau MORB. Batuan berafinitas *Normal-MORB* (N-MORB) secara umum dicirikan oleh pemiskinan atau penurunan kandungan unsur nonkompatibel (LREE, LFSE) seperti Cs, Sr, Rb, Ba, Nb, Ta, La, Ce, Nd, sedangkan *Enrich-MORB* (E-MORB) mirip dengan basal pulau samudra, dicirikan oleh pengkayaan unsur-unsur tersebut dibanding dengan MORB, dan yang dapat dibedakan dengan batuan dari busur vulkanik atau batuan dari zona penunjaman adalah pemiskinan unsur Nb (Gambar 6).

Pemanfaatan unsur isotop sekarang berkembang sangat pesat seiring dengan pemanfaatan unsur jarang (*trace elements, TE*) atau unsur *tanah jarang* (*rare earth elements, REE*). Isotop yang umum dimanfaatkan oleh para ahli petrologi antara lain adalah H, C, O, S, K, Ar, Rb, Sr, U, Pb, Th, Sm, and Nd^{16,24}. Teknologi

pemanfaatan isotop masih terus berkembang, tidak terkecuali di Indonesia, terutama para pelajar atau peneliti yang menjalin kerja sama dengan lembaga penelitian asing yang bisa memanfaatkan teknologi tersebut. Peralatan modern di Indonesia kini sudah dimiliki oleh LIPI (Biomaterial, Fisika), UI, dan UGM.

Penggunaan unsur isotop telah melengkapi dan lebih meningkatkan akurasi penentuan petrogenetik batuan dan teknologinya masih terus berkembang. Unsur isotop tidak stabil telah dimanfaatkan dalam analisis penentuan umur batuan. Diawali dengan pemanfaatan peluruhan radioaktif Ar dan K, kemudian Ar-Ar untuk mengukur umur mutlak batuan. Selanjutnya berkembang teknologi pemanfaatan pasangan isotop Rb-Sr; Sm-Nd; U-Th-Pb SHRIMP dan teknologi terkini dengan memanfaatkan unsur Zirkon (Zr)²⁴.

2.5 Teknologi Analisis Batuan di Masa Depan

Inovasi teknologi peralatan analisis geokimia terus berkembang dengan tingkat ketelitian yang semakin tinggi memungkinkan ditemukannya unsur-unsur yang selama ini sulit dianalisis karena jumlahnya sangat jarang atau sedikit sekali seperti skandium (Sc)²⁶. Gabungan teknologi optik dengan perbesaran 40 sampai 400.000 kali, perangkat elektronik, dan pengolah data telah menghasilkan beragam peralatan analisis batuan. Peningkatan kecepatan dan akurasi pengukuran telah jauh berkembang dibandingkan teknologi era tahun 1990. Peralatan *electron-probe* atau ICP masa kini telah dikombinasikan dengan peralatan WDS dan EDS secara simultan sehingga memungkinkan menganalisis beragam tujuan analisis geokimia, mineralogi, pengukuran umur, metalurgi, keramik, superkonduktor sampai pada biokimia. Kelebihan peralatan terkini adalah preparasi sederhana atau tanpa preparasi secara khusus.

III. JEJAK PETROLOGI DAN GEOKIMIA

Kemajuan pemahaman jenis dan asal usul batuan magmatik di Indonesia mulai mengalami perubahan secara substansial sejak 1990-an. Kepingan-kepingan kerak samudra mulai dari sisi barat Sumatra, di Pulau Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku sampai Papua pada saat itu ditafsirkan seluruhnya berasal dari kerak samudra yang terbentuk sepanjang PTS berumur Mesozoik (250–145 Jtl.). Kepingan-kepingan kerak samudra tersebut kemudian terangkat ke permukaan sejak Paleosen (60–55) atau sampai Eosen-Oligosen (50–25 Jtl.)^{5,7} setelah sebelumnya mengalami obduksi atau terjabik-akresi ke atas kerak benua-busur gunung api di sepanjang zona subduksi Kapur (145–65 Jtl.) atau bersamaan dengan penutupan Ceno-Tethys⁶ atau Neo-Tethys²⁷ setelah mengalami pembukaan dan pergeseran pada awal Kapur^{6,28}.

Petrologi modern yang memanfaatkan analisis kimia batuan dengan berbagai peralatan modern (BAB II) berdampak pada terbukanya pemikiran atau wawasan baru—konsep baru mengenai asal-usul dan umur batuan kerak samudra yang tersebar di daratan Kepulauan Indonesia.

3.1 Papua dan Maluku

Kepingan kerak samudra di Pulau Papua tersebar mulai dari Pegunungan Weyland (Nabire), Pegunungan Tengah Papua, dan Pegunungan Cyclops, Jayapura (Bab I). Lajur Ofiolit Tengah (LOT) atau *Central Ophiolite Belt* (COB) menempati sisi utara pegunungan tengah Papua²⁹, memanjang barat-timur, hampir 240 km dengan lebar 50 km. Ke arah barat, penyebaran LOT dibatasi oleh Sesar Paniai dengan Kompleks Ofiolit Weyland. Penyebaran LOT ke arah timur, bersambung dengan *New Guinea Ophiolite*

Belt, Papua New Guinea. Di sisi selatan LOT, batuan metamafik yang diperkirakan sebagai alas metamorfik-metamafik selama proses anjakan LOT, berbatasan secara tektonik dengan Lajur Metamorfik Irian Jaya/Papua (Kompleks Metamorfik Derewo-Rouffaer)²⁸. LOT disusun oleh peridotit, seperti harsburgit, dunit dan sedikit lersolit; gabro, diabas, dan basal. Kromium spinel batuan harsburgit menunjukkan karakter peridotit oseanik. Studi petrologi dan geokimia batuan LOT menunjukkan sebagai produk kerak samudra tua, terbentuk pada Zaman Jura, dalam lingkungan busur belakang sepanjang tepian utara Kerak Benua Australia^{29,30}.

Kompleks Ofiolit Weyland/KOW merupakan kepingan kerak samudra atau sekuen ofiolit tidak lengkap. Keterdapatannya sangat terbatas di dalam Kompleks Geologi Weyland³¹. Kepingan kerak samudra tersingkap di Desa Bumi, km 38–70 dan di km 125–129, sepanjang jalan dari Nabire ke Epomani. Ofiolit atau kepingan kerak samudra disusun oleh batuan ultramafic yang terdiri atas harsburgit, dunit dan serpentinit serta retas-retas werlit, websterit, piroksenit, hornblendit, dan gabro mikro. Analisis kimia mineral terhadap spinel, olivin, dan piroksin menunjukkan bukti bahwa kepingan kerak samudra KOW terbentuk dalam lingkungan peridotit abisal sampai dengan busur gunung api³¹. Analisis ICP-AES terhadap unsur utama, disimpulkan bahwa batuan peridotit terbentuk dalam lingkungan transisi. Lebih detail dengan unsur jejak dan unsur tanah jarang membuktikan bahwa batuan KOW terbentuk dalam suatu busur kepulauan toleitik³² dalam zona subduksi muda sekitar 42 Jtl. KOW lebih berkorelasi dengan kepingan kerak samudra Cyclops³² atau dengan Busur Sepik di Papua New Guinea.

Kepingan kerak samudra di Pegunungan Cyclops, Jayapura disusun oleh batuan ultramafik jenis harsburgit dan

dunit, serta batuan mafik gabro kumulat, diabas, basal PTS, dan basal boninit³³. Studi kimia mineral dan unsur tanah jarang membuktikan bahwa batuan ultramafik dan lava terbentuk pada Eosen (55–33 Jtl.) dalam lingkungan busur muka³³. Pegunungan Cyclops disusun oleh batuan metamorfik berfasies amfibolit, epidot amfibolit sampai sekis hijau yang secara tektonik ditutupi oleh batuan ultramafik seperti harsburgit, dunit, werlit dan websterit serta lava boninit^{32,33}. Batuan mafik hadir berupa gabro, diabas dan basal^{32,33}. Batuan metamorfik berafinitas busur kepulauan (Tj. Ormu) dan E-MORB³³. Evolusi batuan dasar di utara Papua tersebut berkorelasi dengan pembentukan cekungan tepian (*marginal basin*) yang berpotensi sebagai batuan perangkap ataupun batuan sumber hidrokarbon^{5,34}.

Kepingan batuan mafik-ultramafik di Pulau Obi, Maluku Utara disusun oleh batuan lersolit, harsburgit dan dunit, gabro norit mengandung retas-retas plagiogranit, batuan basal toleit dan batuan sedimen laut dalam yaitu rijang¹. Komplek ofiolit ini ditafsirkan sebagai produk busur kepulauan³⁵ berumur Awal-Tengah Jura (199–161 Jtl.)³⁶, terbukti merupakan kepingan kerak samudra yang terbentuk dalam lingkungan pematang tengah samudra dengan dijumpainya retas-retas plagiogranit, mineral garnet dan spinel, serta rijang¹. Kerak samudra ini ditafsirkan sebagai kepingan dari Kerak Samudra Pasifik^{5,7,35} atau Lempeng Laut Filipina³⁶ yang terseret ke arah barat sepanjang Sesar Sorong³⁷.

Kepingan kerak samudra di kawasan Maluku tersingkap di Pulau Seram bagian barat dan Pulau Ambon³⁸. Di Pulau Seram, batuan ultramafik disusun oleh batuan lersolit yang mengandung plagioklas, berbutir kasar; harsburgit kaya spinel dan klinopiroksen dan harsburgit tanpa klinopiroksen dengan lapisan ortopiroksenit. Batuan terpotong oleh urat-urat kromit, urat

gabbro, dan retas websterit. Di Pulau Ambon³⁸, kepingan kerak samudra dijumpai di sisi selatan, yakni di Kilang dan Tanjung Seri. Batuan lersolit mengandung plagioklas, sedikit harsburgit kaya spinel dan klinopiroksen serta lapisan websterit dan gabro. Kepingan kerak samudra ini sering disetarakan dengan kepingan kerak samudra di Timor (Kompleks Mutis dan Atapupu) yang berumur Trias sampai Jura (155–145 Jtl.)³⁹ yang bersumber dari PTS.

Kepingan batuan kerak samudra Seram-Ambon terbentuk dari magma selubung baji zona subduksi pada tahap awal subduksi lempeng³⁸. Tingginya kandungan Mg dari busur gunung api toleit menunjukkan bahwa busur gunung api dan cekungan busur belakang terbentuk bersamaan. Dalam kepingan kerak samudra hadir retas websterite berafinitas magma adakitik dan batuan gabro bersumber dari magma N-MORB. Data pengukuran umur dengan $40\text{K}/40\text{Ar}$ menunjukkan umur kerak samudra cekungan busur belakang 20–15 Jtl. (Miosen Awal), sedangkan kerak samudra busur gunungapi toleit terbentuk pada 15–9 Jtl., (Miosen Tengah). Rentang waktu kedua proses geologi tersebut terjadi dalam jangka waktu yang pendek, kemudian diikuti oleh proses obduksi kepingan kerak samudra ke atas Pulau Seram pada 9,5–7 Jtl. (Miosen Akhir), dan diikuti oleh proses metamorfisme⁸.

3.2 Sulawesi dan Kalimantan

Kepingan kerak samudra di Sulawesi dikenal sebagai Kompleks Ofiolit Sulawesi Timur (KOST) atau *East Sulawesi Ophiolite Belt* (ESOB)⁴⁰. Penyebaran kepingan kerak samudra di Lengan Timur Sulawesi disusun oleh serpentinit, lersolit, harsburgit, lensa-lensa dunit, gabro massif, gabro berlapis, retas-retas werlit, websterit, piroksenit, dan basal. Di bagian tengah Sulawesi, kepingan kerak samudra disusun oleh serpentinit, lersolit,

harsburgit, dunit, gabro, diabas dan retas retas werlit, dan websterit. Kerak samudra ini terbentuk dalam lingkungan punggungan tengah samudra dan berasal dari zona supra subduksi⁴⁰.

Kepingan kerak samudra tersingkap di Lengan Tenggara Sulawesi berupa serpentinit, lersolit, harsburgit, dunit, gabro, diabas dan retas retas piroksenit, werlit, dan websterit. Sumber batuan kerak samudra adalah punggungan tengah samudra, kerak samudra berafinitas toleitik samudra, sampai busur gunungapi dan atau supra subduksi. Batuan kerak samudra lengan Timur-Tenggara Sulawesi diperkirakan berumur Kapur Akhir sampai Oligosen yang mengalami alih tempat sekitar Miosen⁴⁰ dan menyebabkan proses metamorfisme batuan atau menyingkapkan batuan metamorfik^{9,10}.

Keratan kerak samudra di dalam kompleks mélange tersingkap di daerah Bantimala dan Barru, Sulawesi Selatan. Batuan kerak samudra di Kompleks Bantimala disusun oleh lersolit, harsburgit, dan dunit yang sebagian besar telah mengalami serpentinisasi. Di Kompleks Barru, batuan kerak samudra disusun oleh lersolit yang mengandung spinel, harsburgit yang telah terserpentinisasi. Analisis geokimia, batuan di Kompleks Barru bersumber dari magma supra subduksi tepian cekungan atau cekungan busur belakang, sedangkan Komplek Bantimala bersumber dari proses kumulat (punggungan tengah samudra)⁴⁰. Penelitian lebih rinci terhadap batuan metamorfik dan ultramafik menyimpulkan batuan di Kompleks Barru berafinitas dengan busur kepulauan⁴¹, sedangkan di Kompleks Bantimala, dicirikan oleh kehadiran campuran tektonik batuan berafinitas busur kepulauan, kumulat, pulau oseanik, punggungan tengah samudra, dan batuan kerak benua⁴¹.

Keratan kerak samudra di Kalimantan Selatan membentuk Pegunungan Meratus-Bobaris⁴². Batuan ultramafik berupa harsbur-

git berfoliasi, dengan sedikit dunit dan lapisan klinopiroksenit yang sejajar dengan bidang foliasi harsburgit, telah mengalami serpentinisasi dan tergerus kuat⁴². Data geokimia menunjukkan bahwa batuan ultramafik sebagian merupakan hasil pelelehan selubung litosfir selama proses perekahan kerak benua⁴² pada Jura Atas (145 Jtl.). Kompleks ultramafik merupakan atau bagian dari fragmen litosfir subkerak benua atau sub-oseanik pada umur Jura, diikuti oleh lelehan lava yang terbentuk pada fase akhir rekahan kerak benua⁴².

Pemodelan 2-D anomali Bouguer gaya berat menunjukkan bahwa Komplek Ofiolit Meratus-Bobaris merupakan suatu kompleks akresi dengan kemiringan struktur ke arah barat laut sebagai akibat penunjaman lempeng dari arah tenggara⁴³ dengan berkisar antara 0,5 sampai 2 km, menutupi batuan kerak benua diperkirakan berupa batuan granitik pada kedalaman dangkal⁴⁴.

3.3 Pulau Jawa

Di Pulau Jawa, kepingan kerak samudra dan batuan metamorfik membentuk batuan dasar Pulau Jawa, tersebar mulai dari Kompleks Geologi Bayah, daerah Bayah, Banten, di Kompleks Geologi Ciletuh, Sukabumi, Jawa Barat dan dalam Kompleks Mélange Lok Ulo, Karangsambung, Jawa Tengah. Di dalam Kompleks Geologi Bayah, bagian kepingan kerak samudra telah mengalami metamorfisme seperti sekis aktinolit atau sekis hijau, sekis epidot amfibolit, dan sekis amfibolit⁴⁵. Batuan diperkirakan berasal dari batuan basal, diabas atau gabro. Retromorfisme dan pengangkatan berkaitan dengan proses akresi pada Awal-Tengah Eosen dan terobosan Kompleks Granodiorit Cihara pada Oligosen⁴⁶. Singkapan keratan kerak samudra dijumpai di Kompleks Mélange Ciletuh atau KMC, Sukabumi. Batuan kerak samudra berupa serpentin, harsburgit dan dunit terserpentinisasi, gabro olivin dan gabro troktolit, lava basal berstruktur bantal dan

amfibolit tersingkap di Sungai Citisuk, Cikopo, dan Cikepuh^{47,48}. Batuan peridotit KMC terbentuk dalam lingkungan busur sebagai hasil dari subduksi dari Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia pada Awal Tersier atau Eosen Tengah⁴⁸.

Di Kompleks Mélange Lok Ulo (KMLU), dijumpai keratan kerak samudra seperti peridotit terserpentinisasi, gabro, diabas, dan basal atau ofiolit tidak lengkap^{49,50}, tercampur dengan jenis batuan lainnya atau dilingkupi secara tektonik oleh batu lempung tergerus (*scaly clay*) membentuk Kompleks Mélange Lok Ulo^{49,50}. Teori tektonik lempeng modern pertama kali diterapkan untuk mengurai kompleksitas proses pembentukan KMLU⁵⁰. Penelitian petrologi-geokimia pada batuan kerak samudra KMLU diidentifikasi sebagai produk dari punggung tengah samudra⁵⁰ atau N-MORB yang terbentuk pada 110–81 Jtl. (batuan basal dan diabas)⁵⁰.

Batuan kerak samudra di KMLU telah mengalami proses metamorfisme dalam berbagai tingkat berbeda mulai dari sekis hijau sampai amfibolit dan sangat jarang dijumpai batuan metamorfik tekanan tinggi seperti eklogit, sekis biru atau sekis jadeit-glukofan^{51,52,53}. Batuan sekis glukofan dari KMLU mengalami metamorfisme pada kondisi puncak dengan tekanan 14,5 kbar dan suhu 580°C dan kondisi retromorfisme pada tekanan 4 kbar pada suhu 500°C⁵². Metamorfisme batuan eklogit pada kondisi suhu 410°C dan tekanan 20,5 kbar terbentuk pada kedalaman sekitar ~70 km dalam zona subduksi dengan gradien panas bumi ~6°C/km⁵². Batuan-batuan metamafik memiliki sumber berafinitas E-MORB dan N-MORB, yaitu dari lingkungan punggung tengah samudra (PTS)⁵⁴ sehingga sumber dari kerak samudra sebagai batuan asal batuan metamafik terbentuk dari PTS⁵⁴.

Umur batuan yang menjadi komponen dalam KMLU, seperti ofiolit, metamafik, dan metapelit diukur dengan metode K-Ar dan zircon/U-Pb SHRIMP, berkisar dari Kapur Awal sampai Kapur Akhir atau 110–80 Jtl. Batuan-batuan kerak samudra dalam KMLU tidak memperlihatkan deformasi suhu tinggi yang hanya berupa gerusan, dan autometamorfisme⁵⁴ mengindikasikan batuan-batuan tersebut tidak terlibat dalam proses subduksi, tetapi obduksi^{51,54}, kemudian tercampur secara tektonik dengan batuan metamorfik tekanan tinggi-ultra tinggi^{54,55}. Studi geokimia menunjukkan batuan kerak samudra berafinitas dengan suatu basal N-MORB dan E-MORB, terbentuk dalam lingkungan PTS pada Kapur Akhir⁵⁴.

IV. UMUR DAN ASAL-USUL KEPINGAN KERAK SAMUDRA

Penelitian petrologi dan geokimia kepingan kerak samudra yang tersingkap di berbagai pulau-pulau di Indonesia, kecuali di Sumatra, telah berkontribusi memberikan pengetahuan dan pemahaman baru terkait umur dan asal-usul pembentukan kerak samudra.

4.1 Pemahaman Umum

- 1) Kepingan-kepingan kerak samudra yang tersingkap di daratan terbentuk pada Zaman Mesosoik (Jura-Kapur; 199–65 Jtl.), dan Zaman Senosoik (Masa Tersier) dari Eosen sampai Miosen (55–10 Jtl.).
- 2) Sumber kepingan kerak samudra sangat beragam, terbentuk dari pematang tengah samudra, lingkungan basal pulau samudra, lingkungan perekahan kerak samudra atau kerak benua dan/atau pada zona supra subduksi dalam lingkungan subduksi lempeng (busur kepulauan).

4.2 Asal-Usul dan Umur

Kepingan kerak samudra purba terbentuk dalam lingkungan tektonik yang beragam dengan rentang waktu umur kerak samudra mulai dari Zaman Mesosoik, Masa Jura (190–155 Jtl.), Masa Kapur (145–62 Jtl.), Sub-Masa Paleogen, yaitu pada Kala Eosen (55–33 Jtl.), Kala Oligosen (27 Jtl.), sampai paling muda, yaitu Kala Miosen (20–9 Jtl.).

Kepingan kerak samudra tertua produk dari PTS tercatat dari Pulau Obi (BAB III). Menurut literatur menunjukkan bahwa kerak samudra Pulau Obi terbentuk dalam lingkungan busur gunung api-supra subduksi dengan umur paling tua adalah Akhir

Trias-Awal Jura (207 Jtl.). Kerak samudra busur kepulauan di Lajur Ofiolit Tengah, Papua berumur 157 Jtl. atau Jura Atas^{29,30}, terbentuk pada saat pembentukan samudra baru Ceno-tethys⁶ atau Neo-tethys²⁷. Di Kawasan Sulawesi terbentuk kerak samudra lengan Timur-Tenggara, diperkirakan berumur Kapur Akhir sampai Oligosen. Sumber pembentukan batuan sangat beragam, mulai dari lingkungan PTS, toleitik samudra, sampai busur gunung api dan/atau supra subduksi^{40,41}.

Zaman Mesozoik di Pulau Jawa bagian tengah (KMLU) dan Kalimantan bagian tenggara (Pegunungan Meratus– Bobaris), singkapan kepingan kerak samudra terhubung oleh suatu sutura. Kompleks ultramafik Bobaris-Meratus berasal dari fragmen litosfir sub-kerak benua atau sub-oseanik berumur Jura Atas (145 Jtl.). Di Jawa bagian tengah, batuan kepingan kerak samudra berasal dari PTS (E-MORB dan N-MORB), terbentuk pada kisaran umur 110–81 Jtl. Batuan ofiolit Ciletuh sendiri diperkirakan sebagai suatu busur vulkanik atau supra subduksi^{56,57} berumur Eosen⁵⁷.

Kepingan kerak samudra Pegunungan Cyclops berafinitas E-MORB dan busur kepulauan serta lava boninitik yang terbentuk pada Zaman Senozoik, Sub-Masa Paleogen, yaitu pada Kala Eosen (55–33 Jtl.). Ke arah barat, di kompleks Ofiolit Weyland, Nabire telah terbentuk kerak samudra yang terbentuk dalam suatu busur kepulauan toleitik dalam zona subduksi muda sekitar 42 Jtl.

Kepingan kerak samudra berumur paling muda tersingkap di Pulau Ambon-Seram, berafinitas cekungan busur belakang terbentuk pada 20–15 Jtl. (Miosen Bawah), sedangkan kerak samudra busur gunungapi toleit terbentuk pada 15–9 Jtl. atau Miosen Tengah.

Gambar 7 memperlihatkan diagram-diagram spider yang menunjukkan lingkungan tektonik pembentukan ofiolit di daerah kajian. Secara umum, Gambar 8 memperlihatkan gambaran keragaman lingkungan tektonik pembentukan ofiolit.

Zona-zona penunjaman lempeng atau daerah di mana terdapat persebaran kepingan kerak samudra purba membentuk suatu jalur yang dinamakan zona sutura (*suture zone*). Zona sutura tersebut bisa dilacak mulai dari Kompleks Geologi Bayah, Ciletuh, Karangsambung (Pulau Jawa), kemudian berbelok ke arah timur laut menuju ke Pegunungan Meratus-Bobaris⁵⁸. Di Papua, zona sutura berada di bagian tengah Pulau Papua, memanjang mulai dari Enarotali, Pegunungan Tengah, menerus ke timur di PNG dan berakhir pada perpotongan dengan Sesar Ramu-Markam⁵⁸.

V. PEMANFAATAN HASIL RISET

Penelitian fosil kerak samudra sangat bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dasar atau pengembangan konsep tektonik dan memiliki nilai ekonomis. Dalam perspektif dinamika kerak bumi aktual, pemahaman dasar kerak samudra dapat dimanfaatkan dalam upaya mitigasi bencana, atau berperan dalam isu-isu strategis.

5.1 Upaya Mitigasi Bencana

Pergerakan kerak samudra masih berlangsung sampai saat ini. Pertemuan antarlempeng membentuk jalur gempa bumi dan jalur gunung-gunung api aktif. Tsunami, selain diakibatkan oleh gempa bumi di dasar laut, juga dapat ditimbulkan oleh longsoran bawah laut. Potensi tersebut teridentifikasi di perairan Mentawai di mana longsoran bawah laut dapat memicu tsunami lokal yang dapat mengancam Kota Padang⁵⁹. Kegiatan mitigasi bencana untukantisipasi korban bencana, selain dilakukan penelitian kebencanaan sepanjang busur Sumatra⁶⁰, dan kegiatan pendidikan kesiapsiagaan masyarakat menghadapi bencana gempa dan tsunami secara mandiri telah menghasilkan buku saku-panduan analisis tingkat kesiap-siagaan masyarakat^{61,62,63,64,65}. Pelatihan-pelatihan kesiap-siagaan terutama di daerah '*tsunami prone*', seperti pelatihan evakuasi⁶⁶, kemudian dijadikan bahan dalam menyusun standar nasional Indonesia (SNI) melalui Komisi Teknis Kebencanaan 13-08 di bawah koordinasi BSN, BNPB, dan Kemenristek^{67,68,69}.

5.2 Sumber Daya Kerak Samudra

5.2.1 Sumber Daya Gunung Api Bawah laut

Pergerakan ke arah barat Lempeng Maluku (kerak samudra) menyebabkan terjadinya konvergensi dengan Lempeng Laut Sulawesi, membentuk busur gunung api Sangihe, sebagian sudah muncul ke permukaan laut dan sebagian lainnya berada di bawah permukaan laut. Salah satu gunung api bawah laut yang masih aktif secara hidrotermal adalah Kawio Barat^{13,14,70}. Kegiatan hidrotermal berupa cerobong atau melalui rekahan disertai dengan mineralisasi¹⁵ berupa endapan mineral-mineral seperti emas, seng, besi, dan tembaga. Pemetaan dengan dan penyelaman robot bawah laut telah merekam kegiatan cerobong hidrotermal bawah laut^{71,72,73,74,75}. Hasil penelitian potensi mineral bawah laut telah menjadi salah satu topik dalam Rancangan *Blueprint* Pengelolaan Industri dan Jasa kelautan⁷⁶.

5.2.2 Unsur dan Mineral Ekonomis

Batuan kepingan kerak samudra-peridotit purba busur gunung api telah mengalami fraksinasi lanjut dibanding dengan kerak samudra-peridotit yang bersumber dari selubung bumi²⁴. Dalam diagram perbandingan kandungan beberapa unsur dan mineral ekonomis seperti MgO, TiO₂, Ni, Cr, Co, V dan Zn terhadap MgO (sumbu horisontal), sebagai fungsi fraksinasi magma mafik, teramati perbedaan kandungan mineral tersebut antara batuan peridotit selubung bumi dibanding dengan batuan peridotit yang berasal dari lingkungan busur vulkanik (Cyclops, Ambon-Seram, dan Weyland, Papua)^{29,31,33,38} atau Pegunungan Meratus-Bobaris⁴². Gambar 9 memperlihatkan diagram perbedaan kandungan logam-logam tersebut.

Unsur-unsur logam ekonomis seperti Ni, Cr, atau Co yang menurun kandungannya dalam sistem busur kepulauan vulkanik diharapkan terkompensasi atau termodifikasi oleh sumber magma busur yang lebih kaya komponen aqueous dan silisus seperti Sr, K, Rb, Ba, Th + Ce + Sm + P⁷⁷. Proses ini diharapkan berpotensi sebagai pembawa mineral logam berharga dalam sistem hidrotermal walaupun tidak akan setara dengan sumber logam sulfida dan tanah laterit khususnya nikel⁷⁸. Pengkayaan mineral ekonomis bisa berlangsung pula melalui proses pelapukan seperti pada tanah lateritik⁷⁸, terutama yang berasal dari peridotit yang terserpentisasi kuat⁷⁹. Hasil pengolahan tanah laterit berkadar rendah dari tambang nikel laterit Pomaala masih bisa diekstraksi (skala laboratorium) logam ferronikel (Fe-Ni)³ yang dapat dipakai sebagai bahan baja tahan karat. Ferronikel merupakan produk dengan kandungan nikel kurang dari 99% atau *charge nickel (class II)*⁷⁸. Tanah laterit juga berpotensi mengandung skandium yang merupakan golongan logam tanah jarang sebagai hasil pelapukan batuan kerak samudra seperti peridotit dan piroksenit yang terserpentinisasi²⁶.

Kepingan kerak samudra purba dan batuan hasil metamorfismenya di daratan umumnya telah menjadi batuan dasar. Di sisi utara Papua Barat, Cekungan Mamberamo yang dianggap setara dengan Cekungan Sepik di Papua New Guinea⁸⁰ dicirikan oleh kehadiran gunung lumpur dan rembesan lumpur serta rembesan minyak bumi⁸⁰. Hasil kajian di cekungan yang terletak di tepian di utara Papua³⁴ kemungkinan berpotensi dalam pembentukan hidrokarbon.

5.3 Aspek Strategis Kerak Samudra

Pemahaman akan perilaku pergerakan dan karakter geologi, morfologi, dan struktur kerak samudra di kawasan perairan Indonesia sangat penting. Sumbangan pemikiran terkait kerak

samudra yang mengalasi kawasan ZEE Indonesia adalah dalam penyusunan submisi klaim landas kontinen di luar 200 nm di barat laut perairan Sumatra ke UNCLOS⁸¹.

Penelitian kerak samudra yang tersingkap di Pegunungan Cyclops^{32,33} menerus sampai ke perairan utara Papua sebagai '*natural prolongation*' merupakan masukan dalam penyusunan dokumen klaim perluasan batas landas kontinen di luar 200 nm yang diusulkan dalam bentuk dokumen submisi ke UNCLOS untuk daerah di utara Papua⁸².

Kawasan laut bebas di luar 200 nm berupa kawasan laut dalam berpotensi sebagai penghasil sumber daya mineral strategis masa depan seperti mangan, nikel, dan kobal. Oleh karena itu, perluasan wilayah laut di luar 200 nm memiliki aspek strategis.

VI. KESIMPULAN

Penelitian geologi, petrologi, geokimia kepingan kerak samudra purba yang tersebar di beberapa pulau di Indonesia mengindikasikan sebagai jejak konvergensi lempengan bumi di masa lalu.

Kepingan-kepingan kerak samudra di Indonesia terbentuk dalam lingkungan tektonik yang beragam, yaitu terbentuk dalam lingkungan busur gunung api, punggung tengah samudra, basal kepulauan samudra, dan sub-kontinen. Hasil pengukuran umur pembentukan batuan memberikan rentang waktu mulai dari Kala Jura Tengah (157 Juta Tahun Lalu) sampai umur termuda 15–9 Juta tahun lalu atau Kala Miosen Tengah-Akhir.

Asal-usul dan rentang umur pembentukan kepingan kerak samudra memberikan gambaran baru tatanan geologi dan tektonik terkait dengan pembentukan sumber daya energi atau migas. Secara alamiah komposisi kimia dan kandungan unsur logam ekonomis di antaranya adalah nikel, krom, kobal, titanium maupun seng yang berbeda dari kerak samudra yang terbentuk dari selubung bumi.

Dalam perspektif dinamika kerak bumi aktual, pemahaman dan pengetahuan dasar kerak bumi dapat dijadikan sebagai bahan dalam upaya mitigasi bencana. Pergerakan kerak bumi juga dapat membentuk sumber daya mineral dalam lingkungan kegiatan vulkanik. Kerak samudra yang merupakan alas dari dasar laut sangat strategis sifatnya bagi Indonesia sebagai negara benua maritim. Perluasan wilayah laut di luar 200 nm dalam jangka panjang akan sangat bermanfaat bagi Indonesia.

VII. PENUTUP

Penelitian geologi, petrologi-geokimia kepingan kerak samudra di daratan telah dapat melacak umur dan sumber terbentuknya batuan. Kepingan-kepingan kerak samudra tersebut bersumber dari punggung tengah samudra, basal kepulauan samudra, sub-kerak benua, dan kepingan kerak samudra busur kepulauan dengan rentang umur mulai dari Mesozoik sampai Tersier. Fakta ini dapat mengubah tatanan tektonik dan konsep geologi, terutama dikaitkan dengan keberadaan potensi sumber daya geologi di kawasan kajian.

Penelitian geologi, petrologi-geokimia umumnya paralel dengan penelitian sumber daya mineral, baik logam maupun nonlogam dan sumber daya energi, terkait pemanfaatan logam-logam tertentu sebagai penyimpan energi (baterai) atau mengembangkan konsep geologi untuk sumber daya migas. Penelitian ini memerlukan sinergi hulu-hilir untuk memberikan hasil yang optimal, mulai dari perencanaan penelitian sampai dengan desain *outcome*. Pengguna/*stakeholder* dari hasil penelitian perlu juga ditetapkan sejak awal sehingga penelitian bisa lebih terarah dan efisien.

Di masa depan diharapkan dengan pemanfaatan teknologi analisis geokimia terkini, cabang ilmu petrologi dan geokimia dapat lebih berperan dalam upaya mitigasi bencana atau konservasi lingkungan dan menyumbangkan pemikiran dalam kebutuhan strategis nasional seperti landas kontinen dan pemanfaatan potensi mineral logam dasar laut atau potensi mineral dalam sistem hidrotermal bawah laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Orasi Pengukuhan Profesor Riset ini saya tutup dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah Swt., Pencipta Alam semesta dengan ilmu-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan naskah orasi.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Pejabat Pelaksana Tugas Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Dr. Agus Haryono; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ris. Dr. Ir. Bambang Subiyanto, M.Agr.; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ris. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani, Sekretaris Utama LIPI, Rr. Nur Tri Aries Suestiningtyas, S.Ip.; Kepala BOSDM LIPI, Dr. Heru Santoso; Tim Penilai Naskah Orasi sekaligus Anggota Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Ris. Dr. Ir. Muhamad Rahman Djuwansah, Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, M.Phil., dan Prof. Ris. Dr. Ir. Hananto Kurnio MSc (HONS) sehingga naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang pengukuhan ini.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Deputy Ilmu Pengetahuan Kebumian LIPI, Prof. Dr. Ocky Karna Radjasa; Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Dr. Eko Yulianto; rekan-rekan Bidang Dinamika Bumi dan Bencana Geologi, Tim PUI Material Fungsional dan Kelompok Peneliti Sumber Daya Geologi LIPI, wadah di mana secara bersama-sama meniti karier sebagai peneliti.

Saya sampaikan ucapan terima kasih kepada para ibu dan bapak guru SD, SMP, dan SMA yang telah memberikan Pendidikan dasar; Prof. Dr. Soeria Atmadja (alm.) dan Prof.

Dr. Ir. E. Suparka yang telah mendidik dan memperkenalkan ilmu geologi kerak samudra; juga Prof. Dr. Ir. Hery Harjono, dan Prof. Dr. Jan Sopaheluwakan serta Dr. Ade Kadarusman yang selalu mendukung dan memberikan ide-ide. Prof. Dr. Jaques Girardeau, Prof. Dr. Christophe Monnier, Prof. Herve Bellon dan Prof. Dr. Manuel Pubellier, yang telah menajamkan pemahaman pengetahuan kerak samudra dan tektonika selama menempuh Pendidikan S2 di Universitas Bretagne Occidental, Brest, Prancis (1995), dan S3 di Universitas Nantes, Prancis (1998). Terima kasih kepada rekan Deny Hidayati, Del Bustomi Afriadi, Irina Rafliana yang telah membangun "Compress LIPI" serta para sukarelawan Compress LIPI dengan ide-ide kreatif dan inovatif. Saya mengucapkan terima kasih pada Tim Landas Kontinen, di mana pemahaman dasar keilmuan dapat diterapkan untuk merumuskan kebijakan nasional yang bersifat strategis. Tidak terlewatkan ucapan terima kasih kepada ketua dan seluruh anggota tim SNI Komisi Teknis 13-08 SNI Kebencanaan, BNPB, BSN, dan BMKG yang memberikan kesempatan menerapkan pengetahuan di sisi hilir dari aspek kebencanaan. Tidak terlewatkan terima kasih untuk N.D. Hananto, R.A. Troa yang telah bersama-sama mengembangkan penelitian geologi-geofisika untuk kegiatan hidrotermal bawah laut dan penelitian laut paska gempa dan tsunami 2004, rekan-rekan P2O, juga Kapten Irham Daniel beserta seluruh ABK KR Baruna Jaya VIII yang telah bekerja keras selama pengumpulan data geologi-geofisika kelautan. Seluruh rekan-rekan dari PPPGL-ESDM, KKP, BPPT, ITB, UNPAD, UNHAS, dan UGM yang bahu-membahu selama mengembangkan kegiatan kelautan. Diucapkan terima kasih kepada para perekayasa/teknisi litkayasa yang telah berperan banyak dalam pengumpulan data lapangan di Pulau Jawa, Sulawesi, Maluku, Ambon sampai Papua, yaitu Dedi Rahayu, Pipih Ashari, Adde Tatang, Yayat Sudradjat,

Sodik, Nandang Supriatna, Nyanjang, dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Tidak terlupakan, ucapan terima kasih disampaikan kepada ayahanda Ahmad Zain (rahimahullah), ibunda Retna Djuwariah (rahimahallahu), ibu sambung Nawangwulan (rahimahallahu) dan juga bapak mertua Mohammad Soleh (rahimahullah), ibu mertua Ratna Ningsih (rahimahallahu) yang telah mendidik, mendukung, dan memberikan semangat. Istri tercinta, Dedeh Siti Hodijah, yang dengan sabar memberikan semangat, dukungan serta pengorbanannya sebagai istri peneliti, juga ananda tercinta, Andes Pratama yang sangat memahami menjadi anak seorang ASN peneliti.

Akhiirul kalaam, wabillahi taufik wal hidayah, Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Permana H.** Ofiolit daerah akelamo, pulau obi, maluku utara. Riset 1987; 8(1): 13–24.
2. Atlas geologi dan potensi sumber daya mineral & energi, kawasan Indonesia, skala 1: 10.000. 000. Sukanto R, editor. Puslitbang Geologi, Balitbang ESDM, DESDM; 2002. 33 lembar.
3. Solihin, Arinaldo P, Dewi NS, **Permana H.** The kinetic profile of iron dissolution from laterite ore in chloric acid solution (Profil kinetika pelarutan besi dari bijih laterit dalam larutan asam klorida). Ind. Min. J. 2019 April; 22(1): 29–37.
4. Rangin C, Pubellier M, Rampnoux Jp, Stephan Jf, Tournon J. The quest for Tethys in the western Pacific: 8 paleogeodynamic maps for Cenozoic time. Bulletin de la Société géologique de France. 1990; 6(6): 907–913.
5. Daly MC, Cooper MA, Wilson IB, Smith DT, Hooper BG. Cenozoic plate tectonics and basin evolution in Indonesia. Marine and Petroleum Geology. 1991 Feb; 8(1): 2–21.
6. Metcalfe I. Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes. Dalam: Hall R & Blundell D, editor. Tectonic evolution of south-east asian. Geological Society, London, Special Publications. 1996; 106: 97–122.
7. Hall R. Reconstructing Cenozoic SE Asia. Dalam: Hall R & Blundell D, editor. Tectonic evolution of southeast asian. Geological Society, London, Special Publications. 1996; 106: 153–184.
8. Sopaheluwakan J, Linthout K, Helmers H, **Permana H.** Peridotite-metamorphite relation in West Seram: Constraints to the vertical movement of the North Banda Arc. Proceedings of the Indonesian Association of Geology, XXI Annual Scientific Meeting. Yogyakarta 7 Desember 1992; 599–610.
9. Soeria-Atmadja R, **Permana H,** Kadarusman A. High-pressure metamorphics and associated peridotite in eastern Indonesia. Spec ed. Tertiary high-P metamorphism and associated ophiolite emplacement in eastern indonesia. MGI. 2005 Agustus; 20(2): 61–7.

10. **Permana H.** Kompleks batuan metamorfik. Dalam: Surono & Hartono U, editor. Geologi Sulawesi. Jakarta: LIPI Press; 2013. 127–152.
11. Hsu KJ. Principles of mélanges and their bearing on the Franciscan-Knoxville paradox. Geological Society of America Bulletin. 1968 Aug; 79(8):1063–74.
12. McConachy T, **Permana H**, Burhanuddin S. IASSHA 2003: Indonesia Australia survey for submarine hydrothermal activity Northern Sulawesi, Indonesia. Soundings newslet Intl Mar Min Soc. Intl Mar Min Soc. 2004, 18 Februari. 2003.
13. McConachy TF, **Permana H**, Binns RA, Zulkarnain I, Parr JM, Yeats CJ, Hananto N, Priyadi B, Burhanuddin S, Utomo EP. Recent investigations of submarine hydrothermal activity in Indonesia. The AusIMM Bull. 2004, 19–22 September; 161–172.
14. **Permana H**, Pirlo M. Gunungapi dan kegiatan hidrotermal bawahlaut di perairan Sulawesi Utara: Mineralisasi dan implikasi tektonik. Jurnal Geologi Kelautan. 2008 Agustus; 6(2): 69–79.
15. Troa RA, Sarmili L, **Permana H**, Triarso E. Gunungapi bawah laut Kawio Barat, Perairan Sangihe, Sulawesi Utara: Aktifitas hidrotermal dan mineralisasi. Jurnal Geologi Kelautan. 2013 April; 11(1):1–8.
16. Wilson M. Igneous petrogenesis: A global tectonic approach. The Netherlands: Springer; 1989.
17. Nicolas A. Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publisher; 1989; 367 hlm.
18. Conference participants. Ophiolites. Penrose Field Conf. Geotimes 1972; 24–25.
19. Gill R. Igneous rocks and processes: a practical guide. Hoboken, New Jersey, United States: Wiley-Blackwell. 2010; 428 hlm.
20. Le Bas' MJ, Streckeisen AL. The IUGS systematics of igneous rocks. Journal of the Geological Society. 1991;148(5): 825–33.

21. Dick HJ, Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1984; 86(1): 54–76.
22. Best MG. *Igneous, and metamorphic petrology*. 2nd edition. UK: Blackwell Pub.; 2003. 729 hlm.
23. Takazawa E, Frey FA, Shimizu N, Obata M. Whole rock compositional variation in an upper mantle peridotite (Horoman, Hokkaido, Japan): are they consistent with a partial melting process? *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2000; 64(4): 695–716.
24. Winter JD. *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. Canada: Prentice Hall; 2001. 697 hlm.
25. Sun S-s, McDonough WF. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Dalam: Saunders AD, Norry MJ, editor. *Magmatism in the ocean basins*. Special Publications. London: Geological Society. 1989; (42): 313–45.
26. Maulana A, Sanematsu K, Sakakibara M. An overview on the possibility of scandium and REE occurrence in Sulawesi, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience (IJOG)*. 2016 Agustus; 3(2):139–147.
27. Dilek Y, Furnes H. Tethyan ophiolites and tethyan seaways. *Journal of the Geological Society*. 2019; 176(5): 899–912.
28. Heine C, Müller RD. Late Jurassic rifting along the Australian North West Shelf: margin geometry and spreading ridge configuration. *Australian Journal of Earth Sciences*. 2005; 52(1): 27–39.
29. Monnier C, Girardeau J, Pubellier M, **Permana H**. L'ophiolite de la chaîne centrale d'Irian Jaya (Indonésie): évidences pétrologiques et géochimiques pour une origine dans un bassin arrière-arc. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*. 2000, 15 Desember; 331(11): 691–99.

30. **Permana H.** Dynamique de mise en place des ophiolites d'Irian Jaya (Indonésie). Thèse de Doctorat d'Université Nantes, unpublisch; 1998. 313 hlm.
31. **Permana H,** Soeria-Atmadja R, Girardeau J, Pubellier M, Monnier C, Bellon H. Weyland ophiolite of Nabire District, Western Papua, eastern Indonesia: Origin and tectonic consequence. Spec Ed. Tertiary high-p metamorphism and sssociated ophiolite emplacement in eastern indonesia. MGI. 2005a Agustus; 20(2): 90–102.
32. **Permana H,** Soeria-Atmadja R, Girardeau J, Pubellier M, Monnier C. Emplacement mechanism of the cyclops ophiolite. Spec Ed. Tertiary high-p metamorphism and sssociated ophiolite emplacement in eastern Indonesia. MGI. 2005b Agustus; 20(2): 103–115.
33. Monnier C, Girardeau J, Pubellier M, Polvé M, **Permana H,** Bellon H. Petrology and geochemistry of the cyclops ophiolites (Irian Jaya, east Indonesia): consequences for the Cenozoic evolution of the north Australian margin. Mineralogy and Petrology. 1999; 65(1): 1–28.
34. **Permana H,** Suharyanto A, Soebandrio, Soeria Atmadja R. Evidence of Cenozoic tectonics: implication to basement evolution and configuration of the northern part of Irian Jaya. Proceedings of Indonesian Association of Geologists: Developments in Indonesian tectonics and structural geology. 1999, 30 November–1 Desember: 33–42.
35. Soeria-Atmadja R. Ophiolites in the Halmahera paired belts, east Indonesia. The Geology and Tectonics of Eastern Indonesia, Geol Res and Dev Cen, Spec. Publ. 1981; 2: 363–72.
36. Ali JR, Hall R, Baker SJ. Palaeomagnetic data from a Mesozoic Philippine Sea plate ophiolite on Obi Island, eastern Indonesia. Journal of Asian Earth Sciences. 2001; 19(4): 535–46.
37. **Permana H,** Gaol KL. Sesar Geser Sorong Segmen Sorong-Kofiau, Papua Barat, Indonesia: bukti dari data batimetri dan SBP (Sorong-Kofiau segment of Sorong strike-slip fault, West Papua, Indonesia: Evidence of bathymetry and SBP data). Jurnal Geologi Kelautan. 2018 Juni; 16(1): 37–49.

38. Monnier C, Girardeau J, **Permana H**, Rehault J-P, Bellon H, Cotten J. Dynamics and age of formation of the Seram-Ambon ophiolites (Central Indonesia). *Bulletin de la Société géologique de France*, vol spéc: géodynamique de l'asie du sud-est. 2003; 174(6): 529–43.
39. Munasri, **Permana H**, Siregar S. Is seram island the mirror image of timor island? *Proceedings of Indonesian Association of Geologists: The 28th Annual Convention*. Jakarta, Indonesia, 30 November–1 Desember 1999: 51–61.
40. **Permana H**, Surono. Kompleks ofiolit. Dalam: Surono, Hartono U, editor. *Geologi Sulawesi*. Jakarta: LIPI Press; 2013. 213–24.
41. Maulana A, David J, Ellis DJ, Christy AG. Petrology, geochemistry and tectonic evolution of the South Sulawesi basement rocks, Indonesia. *Proceeding, Indonesian Petroleum Association IPA10-G-192. Thirty-Fourth Annual Convention & Exhibition; 2010 Mei; 2011*.
42. Monnier C, Polvé M, Girardeau J, Pubellier M, Maury R, Bellon H, **Permana H**. Extensional to compressive Mesozoic magmatism at the SE Eurasia margin as recorded from the Meratus ophiolite (SE Borneo, Indonesia). *Geodinamica Acta*. 1999 Januari; 12(1): 43–55.
43. Gaol KL, **Permana H**, Hananto ND. Aplikasi model 2-D anomali gravitasi pada komplek akresi Pegunungan Bobaris Meratus, Kalimantan Selatan. *JTI*. 2003; XXVI (1–2):1–16
44. Gaol KL, **Permana H**, Kadarusman A, Hananto ND, Wardana DD, Sudrajat Y. Model gayaberas Pegunungan Bobaris-Meratus, Kalimantan Selatan dan implikasi tektoniknya. *Jurnal Geofisika, HAGI*. 2005; (2): 2–9.
45. Patonah A, **Permana H**. Basement characteristic Western Part of Java, Indonesia; case study in Bayah Area, Banten Province. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology (IJASEIT)*. 2018; 8(5): 2135–41.
46. Ahnaf JS, Patonah A, **Permana H**. Petrogenesis of volcanic arc granites from Bayah Complex, Banten, Indonesia. *Journal*

of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology (JGEET). 2019; 4(2): 104–15.

47. **Permana H**, Patonah A, Syafri I, Rochman O, Munasri, Ishii T. Petrology basic-ultrabasic rocks and PT condition of metamorphic rocks of Ciletuh Mélange Complex, Southern of West of Java. Proc WS and Expo: Fundamental Research Scientific Result of Indonesia-Japan Coop Prog. Jakarta, 17–18 Juli 2003: 107–11.
48. Patonah A, **Permana H**. Petrology amfibolit kompleks mélange Ciletuh, Sukabumi, Jawa Barat. Bull Sci Cont. 2010 Agustus; 8(2): 69–77.
49. Asikin S. The geological evolution of central Java and vicinity in the light of the new global tectonics [Ph.D. thesis]. [Bandung]: ITB (in Indonesian with English abstract); 1974.
50. Suparka ME. Study on petrology and geochemistry of North Karangsembung Ophiolite, Luh Ulo, Central Java [Ph.D. thesis]. [Bandung]: ITB (in Indonesian with English abstract); 2008. 181 hlm.
51. Kadarusman A, Massonne H-J, van Roermund H, **Permana H**, Munasri. Contrasting protoliths of cretaceous metamorphic rocks from Luk Ulo accretionary wedge complex of Central Java, Indonesia. AGU Fall Meeting Abstracts 2005 Desember; 2005: T11B–0375.
52. Patonah A, **Permana H**, Priyadi B. Petrology of high-pressure metamorphic rocks from Luk Ulo Mélange Complex, Karangsembung, central Java, Indonesia. Bulletin of Scientific Contribution: Geology. 2009; 7(1): 1–6.
53. Kadarusman, A, Massonne, HJ, van Roermund H, **Permana H**, Munasri. PT evolution of eclogites and blueschists from the Luk Ulo Complex of central Java, Indonesia. International Geology Review. 2007; 49(4): 329–56.
54. **Permana H**, Munasri, Mukti MM, Nurhidayati AU, Aribowo S. The origin of oceanic crust and metabasic rocks protolith, the Luk Ulo Mélange Complex, Indonesia. Mukti MM, Yuniati MD, Setiadi B, editor. IOP Conference Series: Earth and Environmental

Science, Global Colloquium on GeoSciences and Engineering, 2017 Oktober 18–19; 118: 34–39.

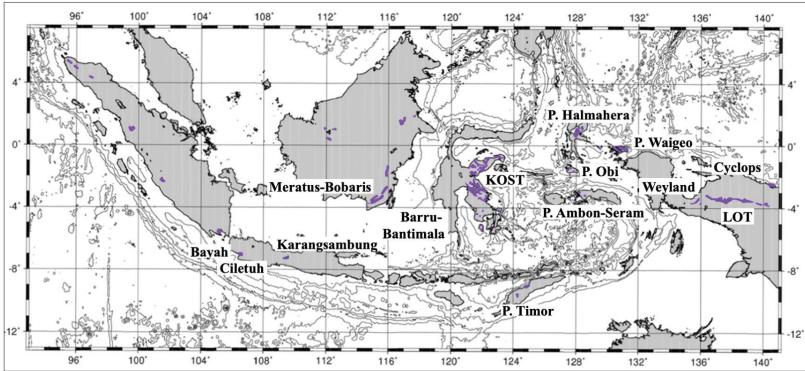
55. Kadarusman A, Miyashita S, Maruyama S, Parkinson CD, Ishikawa A. Petrology, geochemistry and paleogeographic reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia. *Tectonophysics*. 2004; 392: 55–83.
56. Dirk MHJ. Studi petrologi batuan ofiolit dari kompleks Bancuh Ciletuh, Jawa Barat. *JGSM*. 1997 April; VII: 26–31
57. Schiller DM. Eocene submarine fan sedimentation in Southwest Java. *Proc IPA*. 1991: 125–8.
58. Zahirovic S, Seton M, Müller R D. The Cretaceous and cenozoic tectonic evolution of Southeast Asia. *Solid earth*. 2014; April 29; (5), 227–273.
59. **Permana H**, Singh C. Submarine mass movement and localized tsunami potentiality of Mentawai Basin, Sumatra, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*. 2010; 25(2): 53–63.
60. Hananto, ND, **Permana H**, Harjono H. Sumber-sumber gempa besar dan tsunami di sepanjang busur Sumatera serta implikasi terhadap upaya mitigasi kebencanaan. *Menyingkap Tabir Fenomena Bencana Seismik di Indonesia. Perspektif Pengurangan Risiko Bencana dan Tsunami*. Bandung: Andira. 2012.
61. Hidayati D, **Permana H**, editor. *Kajian kesiapsiagaan masyarakat dalam mengantisipasi bencana alam. Assessing and recognizing community preparedness in natural disaster*. LIPI-Unesco/ISDR, 2006.
62. **Permana H**. (Penyusun). *Buku panduan kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi gempa bumi dan tsunami*. Jakarta: Kemristek; 2006.
63. Bustomi DA, **Permana H**, Yogaswara H, Santoso H, Rafliana I. *Buku panduan merintis siaga bencana berbasis masyarakat*. Jakarta: LIPI Coremap II; 2006.
64. Harjono H, **Permana H**, Santoso H. *Buku saku siaga bencana. Indonesia rawan bencana mari kita siaga*. Jakarta: Compres Program LIPI; 2005.

65. Triyono, **Permana H.** Bertahan dari gempa bumi dan tsunami. UNESCO Office Jakarta dan LIPI. 2010; 40 hlm.
66. **Permana H,** Dirhamsyah M, Ridho M, Sa'aduddin I, Sugiyanto D, Rafflesia I, Bustomi DA, Juriono, Prihantoro E, Sudinda TW. The Banda Aceh tsunami drill: First exercise of vertical evacuation in Indonesia. JSPS Program. 2008, 2 November.
67. SNI 7766:2012 Jalur evakuasi tsunami. ICS 12.300. Jakarta: BSN; 2012. 13 hlm.
68. SNI 7743:2011 Rambu evakuasi tsunami. SNI 7743:2011. ICS 12.300. Jakarta: BSN; 2011.11 hlm.
69. SNI 8288:2017 Manajemen pelatihan penanggulangan bencana. ICS 12.300. Jakarta: BSN; 2017. 11 hlm.
70. **Permana H,** Triarso E, Troa RA, Wirasantosa S, Sarmili L, Sulistiyo B, Widiatmoko, Hammond S. Morfostruktur kawasan lepas Pantai Sangihe-Talaud, Sulawesi Utara: Subduksi lempeng dan anjakan antar lempeng. *Majalah Geologi Indonesia*. 2012 April 1; 27(1): 53–67.
71. **Permana H.** INDEX-SATAL 2010 exploration: Kawio Barat submarine volcano in the North Sulawesi, Indonesia, image from the deep. OS13C Ocean Exploration II Posters. AGU Fall Meeting, Abstracts. San Francisco, California; 2010, 13–17 Desember: OS13C–1233.
72. Wirasantosa S, Hammond SR, Pandoe W, Holden JF, Djameluddin R, **Permana H,** Nganro N, Abidin H, Shank TM, Priadi B, Fryer P. INDEX SATAL expedition 2010, a discovery of deep-sea potentials. AGU Fall Meeting, Abstracts. San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: OS11D-02.
73. Priyadi B, Basuki N, Abidin H, **Permana H,** Handayani L, Wirasantosa S, Nganro N, Djameluddin R, Ch Kusuma L, Ratna Setyawidati N, Makarim S. Geological implication on the different products of submarine volcanism in Sangihe waters (Indonesia): view from the ROV (remotely operated vehicle). AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: V13E-2404.

74. Makarim S, Baker ET, Walker SL, Wirasantosa S, **Permana H**, Sulistiyo B, Shank TM, Holden JF, Butterfield D, Ramdhan M, Adi R. Plume indications from hydrothermal activity on Kawio Barat Submarine Volcano, Sangihe Talaud Sea, North Sulawesi, Indonesia. AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: OS13C-1232.
75. Triyono T, Iswinardi I, Wirasantosa S, **Permana H**, Priatna K, Windupranata W, Yuliadi D, Widodo A, Ngranro N. Slope morphology in deep sea floor of the western Sangihe arc, North Sulawesi Waters. AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: OS13C-1252.
76. Rancangan blueprint pengelolaan industri dan jasa kelautan. DKP; 2009. 34 hlm.
77. Pearce J, Lippard SJ, Roberts S. Characteristics, and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites, eds. Kokelaar BP, Howells MF, Marginal basin geology, Geol Soc, Spec Publ. 1984; 16: 77–94.
78. Arif I. Nikel Indonesia. Jakarta: PT Gramedia; 2018. 246 hlm.
79. Ito A, Otake T, Maulana A, Sanematsu K, Sufriadin, Sato T. Geochemical constraints on the mobilization of Ni and critical metals in laterite deposits, Sulawesi, Indonesia: A mass-balance approach. Resource Geology; 22 Maret 2021: 1–28.
80. Williams P R, Amiruddin. Diapirism and deformation east of the Mamberamo River, Northern Irian Jaya. Bulletin Geological Research and Development Centre 1984; (10): 10–20.
81. Continental shelf submission of Indonesia partial submission in respect of the area of North West of Sumatra (Main Body). Gov RI; 2008. 71 hlm.
82. Continental shelf submission of indonesia partial submission in respect of the area of north papua. Main Body. Gov RI; 2018. 79 hlm.
83. Tasa Graphic Arts, Inc. Plate tectonics visual glossary and atlas. Copyright © 2017 by Tasa graphic arts, inc. and its licensors.

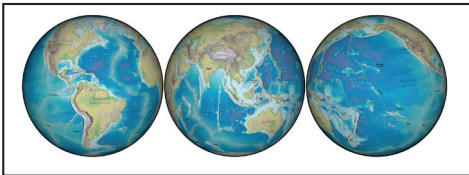
84. Allègre C. Les ophiolites ou la recherché des ocean perdus. Pour la science; 1977: 83–96.
85. Winter JD. Lecture 01. Igneous petrology. <https://www.kau.edu.sa/Files/0053230/Subjects/Igneous-Petrology.ppt>.
86. Toksoz N. La subduction de la lithosphère. Pour la science, 1977; 56–66.
87. Moorbath S. Les plus anciennes roches terrestre et la croissance des continents. Pour la science, 1977; 187–200.

LAMPIRAN



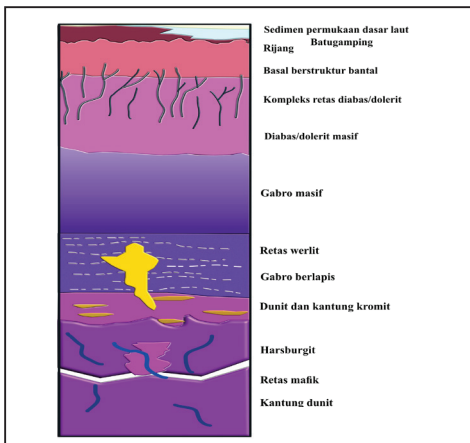
Ket.: Kompleks Oseanik Sulawesi Timur (KOST), Lajur Ofiolit Tengah (LOT), Papua
 Sumber: Solihin dkk. (2019)³

Gambar 1. Penyebaran batuan kerak samudra purba di Indonesia.



Sumber: Tasa Graphic Arts, Inc. (2017)⁸³

Gambar 2. Penyebaran punggungan tengah samudra aktual, sumber pembentukan lapisan kerak samudra baru.



Sumber: Nicholas (1989)¹⁷, Allègre (1977)⁸⁴

Gambar 3. Profil Ofiolit Kerak Samudra Lengkap



Foto: Haryadi Permana (2020)

Gambar 4. Variasi jenis batuan kerak samudra

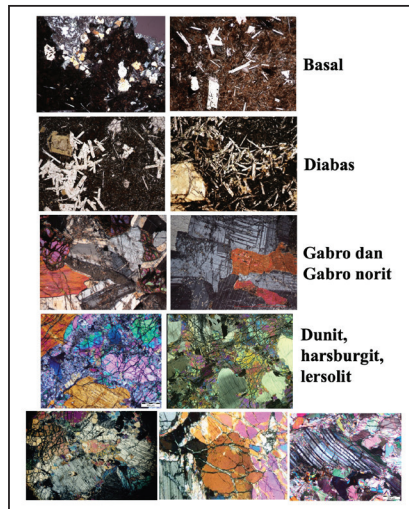
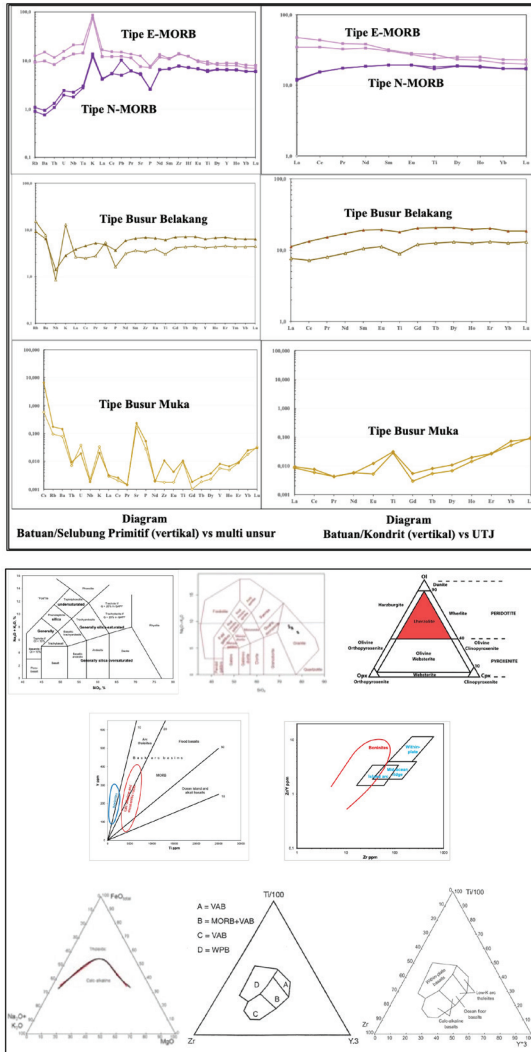


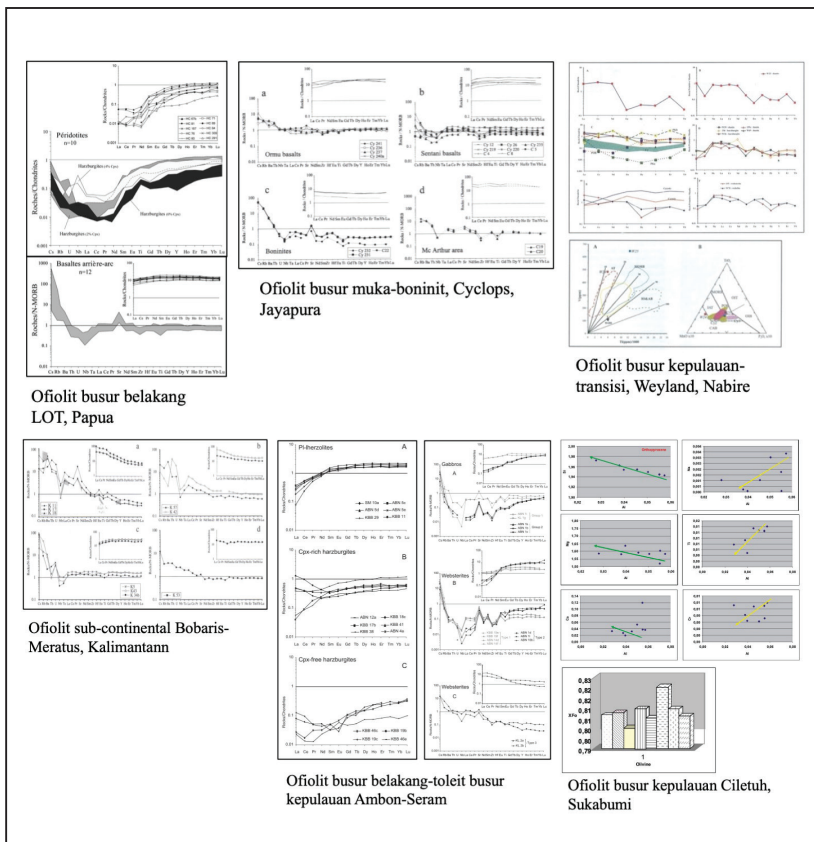
Foto: Haryadi Permana (1997, 2005, 2015)

Gambar 5. Foto mikroskopi batuan-batuan kerak samudra



Sumber: Wilson (1989)¹⁶, Gill (2010)¹⁹, Le Bas' & Streckeisen (1991)²⁰, Best (2003)²², Winter (2201)²⁴, Sun & McDonough (1989)²⁵

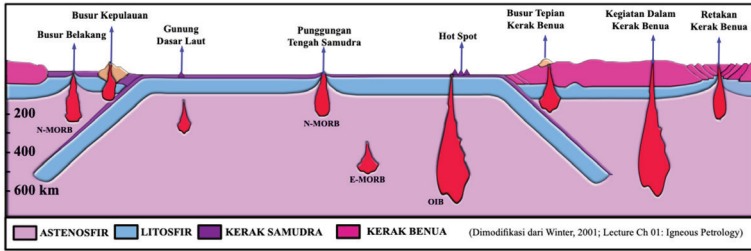
Gambar 6. Diagram multi-unsur dan UTJ sebagai petunjuk lingkungan tektonik pembentukan kerak samudra dan Diagram Biner – Terner untuk penamaan jenis batuan dan penentuan lingkungan tektonik pembentukan batuan.



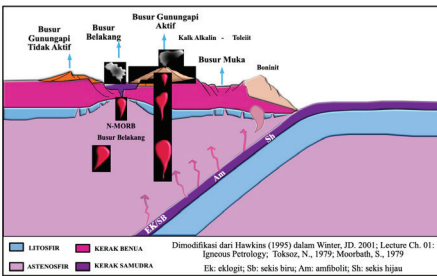
Sumber: Monnier dkk. (2000)²⁹, Permana dkk. (2005a)³¹, Monnier dkk. (1999)³³, Monnier dkk. (2003)³⁸, Monnier dkk. (1999)⁴², Permana dkk. (2003)⁴⁷

Gambar 7. Diagram-diagram multi-antar unsur yang menunjukkan lingkungan tektonik pembentukan Lajur Ofiolit Tengah, Papua; Cyclops, Jayapura; Weyland, Nabire; Meratus-Bobaris, Kalimantan; Ambon-Seram; dan Ciletuh, Sukabumi.

A

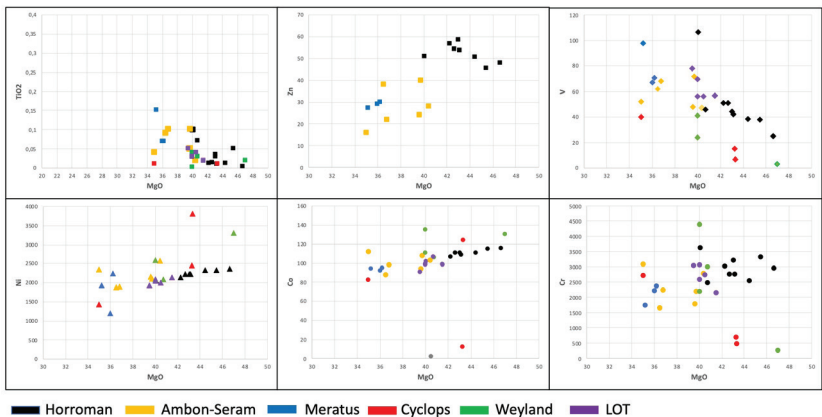


B



Sumber: A. Winter (2001)²⁴, Winter (n.d.)⁸⁵; B. Winter (2001)²⁴, Winter (n.d.)⁸⁵, Toksoz (1977)⁸⁶, Moorbath (1977)⁸⁷

Gambar 8. A. Lingkungan Tektonik Sumber Ofiolit Secara Umum; B. Lingkungan Zona Subduksi dan Busur Kepulauan



Sumber: Takazawa dkk. (2000)²³, Monnier dkk. (2000)²⁹, Permana dkk. (2005a)³¹, Monnier dkk. (1999)³³, Monnier dkk. (2003)³⁸, Monnier dkk. (1999)⁴²

Gambar 9. Diagram-diagram perbandingan logam tertentu dalam batuan peridotit busur dibandingkan batuan peridotit yang berasal dari selubung bumi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku

Bahasa Inggris

1. Iqbal P, Muslim D, Zakaria Z, **Permana H**, Syahbana AJ, Satriyo NA, Yunarto Y, Jakah J, Khoirullah N. Tropical Volcanic Residual Soil. Book chapter in Volcanology Book. IntechOpen; 2021. 1–21.
2. Mohtadi M, Lückge A, Steinke S, **Permana H**, Susilohadi S, Zuraida R, Jennerjahn TC. (9) Late Quaternary Environmental History of Indonesia. In: Spice Book; 2020. (*inprint*)

Buku

Bahasa Indonesia

3. Triyono, **Permana H**. Bertahan dari gempa bumi dan tsunami. UNESCO Office Jakarta dan LIPI; 2010. 40.
4. **Permana H**. (Penyusun). Buku panduan kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi gempa bumi dan tsunami. Jakarta: Kemenristek; 2006.
5. Bustomi DA, **Permana H**, Yogaswara H, Santoso H, Rafliana I. Buku panduan merintis siaga bencana berbasis masyarakat. LIPI Coremap II; 2006.
6. Harjono H, **Permana H**, Santoso H. Buku saku siaga bencana. Indonesia rawan bencana mari kita siaga. Compres Program LIPI; 2005.
7. **Permana H**. Buku saku waspada dan siaga hadapi gempa bumi dan tsunami, Indonesia rawan bencana.
8. Hidayati D, **Permana, H**. (Ed.). Kajian kesiapsiagaan masyarakat dalam mengantisipasi bencana alam. Assesing and recognizing community preparedness in natural disaster. LIPI-UNESCO/ISDR; 2006.

Bagian dari Buku

Bahasa Indonesia

9. **Permana H**, Surono. Kompleks ofiolit. Dalam: Surono, Hartono U, editor. Geologi Sulawesi. Jakarta: LIPI Press; 2013. 213–224.
10. **Permana H**. Kompleks batuan metamorfik. Dalam: Surono, Hartono U, editor. Geologi Sulawesi, LIPI Press; 2013. 127–152.
11. Hananto, ND, **Permana H**, Harjono H. Sumber-sumber gempa besar dan tsunami di sepanjang busur Sumatera serta implikasi terhadap upaya mitigasi kebencanaan. Dalam: Anwar HZ, editor. Menyingkap tabir fenomena bencana seismik di Indonesia: Perspektif pengurangan risiko bencana dan tsunami. Bandung: Andira; 2012.

Jurnal Internasional

Bahasa Inggris

12. Priyanto WS, Hunt JE, Hanif M, Tappin DR, **Permana H**, Susilohadi S, Cassidy M, Yulianto E. Bathymetry and shallow seismic imaging of the 2018 flank collapse of Anak Krakatau. *Front. Earth Sci.* 2020; 8(577448): 1–13.
13. Iqbal P, Muslim D, Zakaria Z, **Permana H**, Satriyo NA, Syahbana AJ, Yunarto, Khoirullah N, Asykarullah AW. Swelling potential of volcanic residual soils in Sumatra (Indonesia) in relation to environmental issues. *Environ.* 2020 10 Desember; 8(4): 1–10.
14. Iqbal P, Muslim D, Zakaria Z, **Permana H**, Syahbana AJ, Yunarto J. Geotechnical characteristics of volcanic red clay soil related to geoen지니어ing problem in Sekincau, Sumatra, Indonesia. *International Journal of Advanced Science and Technology (IJAST)*. 2020; 29(7): 3166–73.
15. Patonah A, **Permana H**. Basement characteristic Western Part of Java, Indonesia; case study in Bayah Area, Banten Province. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology (IJASEIT)*. 2018; 8(5): 2135–41.

16. Ahnaf JS, Patonah A, **Permana H**. Petrogenesis of volcanic arc granites from Bayah Complex, Banten, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology (JGEET)*. 2019; 4(2): 104–15.
17. Poliakova A, Zonneveld KAF, Herbeck L, Jennerjahn TC, **Permana H**, Behling H. High resolution multi-proxy reconstruction of environmental changes in coastal waters of the Java Sea, Indonesia, during the late holocene. *Palynology*. 2016, 3 Agustus: 297–310.
18. Henstock T, McNeill LC, Bull JM, Cook BJ, Gulick SPS, Austin Jr JA, **Permana H**, Djajadihardja YS. Downgoing plate topography stopped rupture in AD 2005 Sumatra earthquake. *Geology*. 2016 Januari; 4(1): 71–74.
19. Misawa A, Hirata K, Seeber L, Arai K, Nakamura Y, Rahardiawan R, Udrekh, Fujiwara T, Kinoshita M, Baba H, Kameo K, Adachi K, Sarukawa H, Tokuyama H, **Permana H**, Djajadihardja YS, Ashii J. Geological structure of the offshore sumatra forearc region estimated from high-resolution MCS reflection survey. *Earth and Planetary Science Letters (EPSL)* 2014; 386: 41–51.
20. Mukti MM, Singh SC, Deighton I, Hananto ND, Moeremans R, **Permana, H**. Structural evolution of backthrusting in the Mentawai fault zone, offshore Sumatran fore-arc. *G3 AGU*. 2012, 22 Desember; 13(12): 1–21.
21. Gulick SP, Austin JA, McNeill LC, Bangs NL, Martin KM, Henstock TJ, Bull JM, Dean S, Djajadihardja YS, **Permana H**. Updip rupture of the 2004 Sumatra earthquake extended by thick indurated sediments. *Nature Geoscience*. 2011 Jun 19; 4(7): 453–6.
22. Singh SC, Hananto ND, Mukti M, **Permana H**, Djajadihardja YS, Harjono H. Seismic images of the megathrust rupture during the 25th October 2010 Pagai earthquake, SW Sumatra: Frontal rupture and large tsunami. *Geoph Res Let*. 2011 Agustus 26; 38 (16): 1–12.

23. Henstock TJ, **Permana, H**, Bonneville A, Lucazeau F, Weber M. Exploring structural controls on great earthquakes along the Sumatra subduction zone. *EOS*. 2010 Nov 2; 91(44): 405–6.
24. Singh SC, Hananto ND, Chauhan A, **Permana H**, Denolle M, Hendriyana A, Natawidjaja DH. Evidence of active backthrusting at the NE Margin of Mentawai Islands, SW Sumatra, *Geophys. J. Int.* 2010; 180: 703–714.
25. Dean SM, McNeill LC, Henstock TJ, Bull JM, Gulick SP, Austin JA, Bangs NL, Djajadihardja YS, **Permana H**. Contrasting décollement and prism properties over the Sumatra 2004–2005 earthquake rupture boundary. *Science*. 2010 Juli 9; 329(5988): 207–10.
26. Klingelhoefer F, Gutscher MA, Ladage S, Dessa JX, Graindorge D, Franke D, André C, **Permana H**, Yudistira T, Chauhan A. Limits of the seismogenic zone in the epicentral region of the 26 December 2004 great Sumatra-Andaman earthquake: Results from seismic refraction and wide-angle reflection surveys and thermal modeling. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2010; 115: 1–23.
27. Chauhan AP, Singh SC, Hananto ND, Carton H, Klingelhoefer F, Dessa JX, **Permana H**, White NJ, Graindorge D, SumatraOBS Scientific Team. Seismic imaging of forearc backthrusts at northern Sumatra subduction zone. *Geophysical Journal International*. 2009 Sep 2; 179(3):1772–80.
28. Graindorge D, Klingelhoefer F, Sibuet JC, McNeill L, Henstock TJ, Dean S, Gutscher MA, Dessa JX, **Permana H**, Singh SC, Leau H. Impact of lower plate structure on upper plate deformation at the NW Sumatran convergent margin from seafloor morphology. *Earth and Planetary Science Letters (EPSL)*. 2008 Oktober 12; 275(3–4): 201–10.
29. Dessa JX, Klingelhoefer F, Graindorge D, André C, **Permana H**, Gutscher MA, Chauhan A, Singh SC, Sumatra-OBS Scientific Team. Megathrust earthquakes can nucleate in the forearc mantle: evidence from the 2004 Sumatra event. *Geology GSA*. 2009 Juli; 37(7): 659–62.

30. Kadarusman, A, Massonne, H-J, van Roermund H, **Permana H**, Munasri. P-T evolution of eclogites and blueschists from the Luk Ulo Complex Of Central Java, Indonesia. *Int Geol Rev.* 2007; 49(4): 329–56.
31. Monnier C, Girardeau J, **Permana H**, Rehault J-P, Bellon H, Cotten J. Dynamics and age of formation of the seram-ambon ophiolites (central Indonesia). *Bulletin de la Société géologique de France. Vol spéc: Géodynamique de l'Asie du sud-est.* 2003; 174(6): 529–43.
32. Monnier C, Girardeau J, Pubellier M, **Permana H**. L'ophiolite de la chaîne centrale d'Irian Jaya (Indonésie): évidences pétrologiques et géochimiques pour une origine dans un bassin arrière-arc. *C R Acad. Sci. Paris, Sci de la Terre et des planètes / EPS Elsevier.* 2000; 331(11): 691–99.
33. Monnier C, Girardeau J, Pubellier M, Polvé M, **Permana H**, Bellon H. Petrology and geochemistry of the cyclops ophiolites (Irian Jaya, east Indonesia): consequences for the Cenozoic evolution of the north Australian margin. *Mineralogy and Petrology.* 1999; 65(1): 1–28.
34. Monnier C, Polvé M, Girardeau J, Pubellier M, Maury R, Bellon H, **Permana H**. Extensional to compressive Mesozoic magmatism at the SE E urasia margin as recorded from the Meratus ophiolite (SE Borneo, Indonesia). *Geodinamica Acta.* 1999; 12(1): 43–55.

Jurnal Nasional

Bahasa Indonesia

35. **Permana H**, Gaol KL. Sesar Geser Sorong Segmen Sorong-Kofiau, Papua Barat, Indonesia: bukti dari data batimetri dan SBP. *Jurnal Geologi Kelautan.* 2018 Juni; 16(1): 37–49.
36. Nurohman H, Bakti, H, Indarto S, Yuliyanti A, Al Kausar AA, **Permana H**, Gaffar EZ. Zone permeable di Kawah Gunung Papandayan berdasarkan gas radon dan thoron. Permeable zone at Papandayan crater based on radon and thoron. *Riset Geologi dan Pertambangan.* 2016 Des; 26(2): 131–40.

37. Indarto S, Sudarsono S, Setiawan I, **Permana H**, Al Kausar A, Yuliyanti A, Yuniati MD. Batuan pembawa emas pada mineralisasi sulfida berdasarkan data petrografi dan kimia Daerah Cihonje, Gumelar, Banyumas, Jawa Tengah. *Riset Geologi dan Pertambangan*. 2014 Des; 24(2): 115–130.
38. Aryanto NCD, Suparka E, Abdullah CI, **Permana H**. Petrologi dan geokimia batuan granitoid di Pantai Sedau, Kalimantan Barat. *Jurnal Teknologi Kebumihan*. ITB. 2014; 41(1): 13–22.
39. Troa RA, Sarmili L, **Permana H**, Triarso E. Gunungapi bawah laut Kawio Barat, Perairan Sangihe, Sulawesi Utara: aktifitas hidrotermal dan mineralisasi. *Jurnal Geologi Kelautan*. 2013 April; 11(1): 1–8.
40. Handayani L, **Permana H**, Gaffar EZ. Segementasi tektonik aktif pada lempeng mikro Sumatera bagian utara (Aceh) ditinjau dari sebaran episenter gempa bumi. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. 2012 Agt 2; 3 2): 71–77.
41. Pranowo WS, Adi RA, **Permana H**, Hananto, ND. Sirkulasi arus permukaan pasang surut di Muara Pegah, Delta Mahakam, Kalimantan Timur. *J Segara*. 2012, 30 Juli; 8(1): 56–63.
42. **Permana H**, Triarso E, Troa RA, Wirasantosa S, Sarmili L, Sulistiyo B, Widiatmoko, Hammond S. Morfostruktur kawasan lepas Pantai Sangihe-Talaud, Sulawesi Utara: Subduksi lempeng dan anjakan antar lempeng. *Majalah Geologi Indonesia*. 2012 April 1; 27(1): 53–67.
43. Triarso E, **Permana P**, Troa RA, Prihantono J. Analisis morfostruktur dan tomografi untuk identifikasi keterdapatan aktivitas hidrotermal bawah laut di kawasan perairan Halmahera. *Jurnal Segara*. 2012 Desember; 8(2): 89–96.
44. **Permana H**, Putra PS, Ismiyanto AF, Setiawan I, Hendrizon M, Mukti MM. Perkembangan cekungan antar-busur di daerah Majalengka-Banyumas: sejarah tektonik kompleks di wilayah batas konvergensi. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. 2011 Apr; 21(2): 77–90.

45. Patonah A, **Permana H**. Petrologi amfibolit kompleks mélange Ciletuh, Sukabumi, Jawa Barat. *Bull Sci Cont*. 2010 Agustus; 8(2): 69–77.
46. **Permana H**, Pirlo M. Gunungapi dan kegiatan hidrotermal bawahlaut di perairan Sulawesi Utara: Mineralisasi dan implikasi tektonik. *Jurnal Geologi Kelautan*. 2008 Agustus; 6(2): 69–79.
47. **Permana H**, Avianto P. Dinamika morfologi daerah sisi luar (outer) delta Mahakam Kalimantan Timur, Indonesia. *Jurnal Geologi Kelautan*. 2008 April; 6(1): 23–35.
48. Gaol KL, **Permana H**, Kadarusman A, Hananto ND, Wardana DD, Sudrajat Y. Model gayaberat Pegunungan Bobaris-Meratus, Kalimantan Selatan dan implikasi tektoniknya. *Jurnal Geofisika, HAGI*. 2005; (2): 2–9.
49. Gaol KL, **Permana H**, Hananto ND. Aplikasi model 2-D anomali gravitasi pada kompleks akresi Pegunungan Bobaris Meratus, Kalimantan Selatan. *JTI*. 2003; XXVI(1–2): 1–16.
50. **Permana H**. Ofiolit Daerah Akelamo, Pulau Obi, Maluku Utara. *Riset*. 1987; 8(1): 13–24.

Jurnal Nasional

Bahasa Inggris

51. Mukti MM, Arisbaya I, **Permana H**. Termination of a trench-linked strike-slip fault zone in the Sumatra–Java forearc basin and accretionary wedge complex (Batas akhir zona patahan mendatar yang terhubung dengan palung di cekungan busur muka dan kompleks prisma akresi Sumatra–Jawa). *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral (JGSM)*. 2020 November; 21(4): 177–186.
52. Solihin, Arinaldo P, Dewi NS, **Permana H**. The kinetic profile of iron dissolution from laterite ore in chloric acid solution (Profil kinetika pelarutan besi dari bijih laterit dalam larutan asam klorida). *Ind. Min. J*. 2019 April; 22(1): 29–37.
53. Ahnaf JS, Patonah A, **Permana H**. Petrogenesis of volcanic arc granites from Bayah Complex, Banten, Indonesia. *Journal*

of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology (JGEET). 2019; 4(2): 104–15.

54. **Permana H**, Hananto ND, Zuraida R, Susilohadi, Suryoko MA, Nazarudin N, Saputro E, Sinaga AC, Nugroho SH. Natural to anthropogenic influence of environmental change of Jakarta Bay: seismic reflection and sediment coring studies. *Ind J of Geospatial*. 2015; 4(1): 25–33.
55. Aryanto NC, Suparka E, Abdullah CI, **Permana H**. The petrology characteristic of granitoid rock based on geochemical analysis of Bajau cape and its surrounding West Kalimantan, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*. 2013 Juni; 28(1): 13–20.
56. **Permana H**, Hirata K. Fault pattern and active deformation of outer arc ridge of northwest of Simeulue Island, Aceh, Indonesia. *Bulletin of The Marine Geology*. 2016, 15 Februari; 26(1): 41–50.
57. **Permana H**, Singh C. Submarine mass movement and localized tsunami potentiality of Mentawai Basin, Sumatra, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*. 2010; 25(2): 53–63.
58. **Permana H**, Soeria-Atmadja R, Girardeau J, Pubellier M, Monnier C. Emplacement mechanism of the cyclops ophiolite. *Spec Ed. Tertiary high-p metamorphism and associated ophiolite emplacement in eastern Indonesia*. MGI. 2005 Agustus; 20(2): 103–115.
59. **Permana H**, Soeria-Atmadja R, Girardeau J, Pubellier M, Monnier C, Bellon H. Weyland ophiolite of Nabire District, Western Papua, eastern Indonesia: Origin and tectonic consequence. *Spec Ed. Tertiary high-p metamorphism and associated ophiolite emplacement in eastern Indonesia*. MGI. 2005 Agustus; 20(2): 90–102.
60. Soeria-Atmadja R, **Permana H**, Kadarusman A. High-pressure metamorphics and associated peridotite in eastern Indonesia. *Spec ed. Tertiary high-P metamorphism and associated ophiolite emplacement in eastern Indonesia*. MGI. 2005 Agustus; 20(2): 61–7.

Prosiding Internasional

Bahasa Inggris

61. Priyanto WS, **Permana H**, Arisa D, Aulia A, Mukti MM, Handayani L, Farisan A. A Complex structure in the northwestern of Sumatra Fore-arc. Intl conf on the ocean and earth sci IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 789(1): 1–9.
62. **Permana H**, Munasri, Mukti MM, Nurhidayati AU, Aribowo S. The origin of oceanic crust and metabasic rocks protolith, the Luk Ulo Mélange Complex, Indonesia. Mukti MM, Yuniati MD, Setiadi B, editor. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Global Colloquium on GeoSciences and Engineering, 2017 Oktober 18–19; 118: 34–39.
63. Fauzi A, **Permana H**, Indarto S, Gaffar EZ. Regional structure control on geothermal systems in West Java, Indonesia. Proceedings World Geothermal Congress. Melbourne, Australia. 2015 April 19–25.
64. Martin, KM, Gulick SP, Austin, JA, Franke D, Berglar K, Udrekh, **Permana H**, Djajadihardja YS. The west Andaman fault as a strain partitioning structure in the Sumatran forearc. AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2011 Desember: T51F-2422.
65. Sumner E, Siti M, McNeill LC, Talling PJ, Wynn R, Henstock T, Djajadihardja Y, **H. Permana**. Testing the validity of using turbidites as an earthquake proxy on the Sumatran margin. AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: T11D-2129.
66. Priyadi B, Basuki N, Abidin H, **Permana H**, Handayani L, Wirasantosa S, Nganro N, Djamaluddin R, Ch Kusuma L, Ratna Setyawidati N, Makarim S. Geological implication on the different products of submarine volcanism in Sangihe waters (Indonesia): view from the ROV (remotely operated vehicle). AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: V13E-2404.

67. Makarim S, Baker ET, Walker SL, Wirasantosa S, **Permana H**, Sulistiyo B, Shank TM, Holden JF, Butterfield D, Ramdhan M, Adi R. Plume indications from hydrothermal activity on Kawio Barat Submarine Volcano, Sangihe Talaud Sea, North Sulawesi, Indonesia. AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: OS13C-1232.
68. Triyono T, Iswinardi I, Wirasantosa S, **Permana H**, Priatna K, Windupranata W, Yuliadi D, Widodo A, Nganro N. Slope morphology in deep sea floor of the western Sangihe arc, North Sulawesi Waters. AGU Fall Meeting, San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: OS13C-1252.
69. Wirasantosa S, Hammond SR, Pandoe W, Holden JF, Djamiluddin R, **Permana H**, Nganro N, Abidin H, Shank TM, Priadi B, Fryer P. INDEX SATAL expedition 2010, a discovery of deep-sea potentials. AGU Fall Meeting, Abstracts. San Francisco, California. 2010, 13–17 Desember: OS11D-02.
70. **Permana H**. INDEX-SATAL 2010 exploration: Kawio Barat submarine volcano in the North Sulawesi, Indonesia, image from the deep. OS13C Ocean Exploration II Posters. AGU Fall Meeting, Abstracts. San Francisco, California; 2010, 13–17 Desember: OS13C–1233.
71. **Permana H**, Dirhamsyah M, Ridho M, Sa’aduddin I, Sugiyanto D, Rafliana I, Bustomi DA, Juriono, Prihantoro E, Sudinda TW. The Banda Aceh tsunami drill: First exercise of vertical evacuation in Indonesia. JSPS Program. 2008, 2 November.
72. McConachy TF, **Permana H**, Binns RA, Zulkarnain I, Parr JM, Yeats CJ, Hananto N, Priyadi B, Burhanuddin S, Utomo EP. Recent investigations of submarine hydrothermal activity in Indonesia. The AusIMM Bull. 2004 sept 19–22: 161–172.
73. McConachy T, **Permana H**, Burhanuddin S. IASSHA 2003: Indonesia Australia survey for submarine hydrothermal activity Northern Sulawesi, Indonesia. Soundings newslet Intl Mar Min Soc. Intl Mar Min Soc. 2004 Febr 18.

74. **Permana H**, Patonah A, Syafrî I, Rochman O, Munasri, Ishii T. Petrology basic-ultrabasic rocks and PT condition of metamorphic rocks of Ciletuh Mélange Complex, Southern of West of Java. Proc WS and Expo: Fundamental Research Scientific Result of Indonesia-Japan Coop Prog. Jakarta, 17–18 Juli 2003: 107–11.

Prosiding Nasional

Bahasa Indonesia

75. **Permana H**, Munasri, Aribowo S, Mukti MM. Petrologi batuan dasar kompleks Gunungkasih, Tanjung Karang, Lampung. Prosiding Geotek Expo Puslit Geoteknologi LIPI. 2016 Desember: 623–636.
76. Aribowo S, Munasri, Mukti MM, **Permana H**, Supriatna N. Geologi struktur pada daerah subduksi purba di kompleks Gunungkasih, Provinsi Lampung. Prosiding Geotek Expo Puslit Geoteknologi LIPI. 2016 Desember: 363–371.
77. **Permana H**, Indarto S, Nurohman H, Sudarsono. Evolusi pembentukan gunungapi kompleks Karaha-Talaga Bodas, Garut, Jawa Barat berdasarkan analisa morfostratigrafi dan morfostruktur. Prosiding Geotek Expo Puslit Geoteknologi LIPI. 2016 Desember: 291–303.
78. Mukti MM, Singh S, Arisbaya I, Deighton, I, Handayani L, **Permana H**, Schnabel M. Geodinamika daerah busur muka Selat Sunda berdasarkan data seismik refleksi. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2015: I-25–32
79. Arisbaya I, Mukti MM, Handayani L, **Permana H**, Schnabel M, Jaxybulatov K. Tinggian Tabuan-Panaitan, jejak sesar Sumatera di Selat Sunda berdasarkan analisis data geofisika. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2015: I-33–40.
80. **Permana H**, Gaffar EZ, Sudarsono, Nurohman H, Indarto S. Struktur dan tektonik lereng selatan kaldera purba Garut-Bandung, Garut Selatan, Jawa Barat. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2015: I-51–62.

81. Munasri, Mukti MM, **Permana H**, Putra AM. Jejak subduksi mesozoikum di kompleks Garba, Sumatera bagian selatan berdasarkan fosil radiolaria dan data geokimia. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2015: I-63–72.
82. Hantoro WS, **Permana H**, Djuwansyah MR, Latief H, Soebowo E, Syamsi D, Rezaldy MR, Gusman AR, Airlangga AY, Nurohman H, Djupriono D. Peningkatan ketahanan ekosistem Pesisir Selat Sunda Kawasan Banten terhadap ancaman bahaya tsunami vulkanik dan tektonik. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2015: I-103–120.
83. Nurohman H, Bakti H, Indarto S, Yuliyanti A, Al Kausar A, **Permana H**, Gaffar EZ. Penentuan zona permeable di kawah Gunung Papandayan berdasarkan gas radon dan thoron. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2015: IV-25–32.
84. Gaffar EZ, **Permana H**, Indarto S, Sudrajat Y, Nyanjang. Pemodelan panasbumi kompleks dataran tinggi Dieng dengan metode magnetotelurik. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2014, 4–5 Desember: 555–563.
85. Al Kausar A, Indarto S, **Permana H**, Gaffar EZ, Sudarsono. Batuan vulkanik kaitannya dengan terjadinya manifestasi panasbumi di permukaan, Daerah Guci, Tegal, Jawa Tengah. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2014, 4–5 Desember: 241–250.
86. **Permana H**, Sudarsono, Indarto S. Studi morfostratigrafi dan morfostruktur: studi kasus prospek lapangan panasbumi Guci, Tegal, Jawa Tengah. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. 2014, 4–5 Desember: 419–30.
87. Hananto ND, **Permana H**, Harjono H. Pencitraan zona seismogenik dengan metoda seismik refleksi dan refraksi untuk mitigasi bencana gempa dan tsunami. Prosiding Pemaparan Hasil Riset P2G LIPI, Bandung, 2014, 4–5 Desember: 260–67.

88. **Permana H**, Triarso E, Hananto ND, Troa RA. Penelitian aktivitas hidrotermal bawah laut di perairan Sulawesi Utara. Prosiding Pemaparan Hasil Riset P2G LIPI, Bandung, 2014, 4–5 Desember: 364–71.
89. **Permana H**, Triarso E, Troa RA, Wirasantosa S, Sarmili L, Sulistiyo B. Morfostruktur kawasan lepas Pantai Sangihe-Talau, Sulawesi Utara: Subduksi lempeng dan anjakan antar lempeng. Proceedings of Joint Convention HAGI-IAGI. Makassar, 2011 26–29 September. Makassar: HAGI-IAGI-IAFMI-IATMI; 2011.
90. Triarso E, **Permana H**, Troa RA, Wirasantosa S, Sulistyio B. Kontrol tektonik aktivitas hidrotermal gunungapi bawahlaut Kawio Barat, Sulawesi Utara, Indonesia. Proceedings of Joint Convention HAGI-IAGI. Makassar, 2011 26–29 September. Makassar: HAGI-IAGI-IAFMI-IATMI; 2011.
91. **Permana H**, Udrek, Rahardiawan R, Singh SC, McNeill L, Djajadihardja YS. Struktur geologi busur muka Aceh: kajian batimetri dan seismik kawasan lepas Pantai Aceh, Sumatera, Indonesia. Proceedings of Joint Convention HAGI-IAGI. Makassar, 2011 26–29 September. Makassar: HAGI-IAGI-IAFMI-IATMI; 2011.
92. Troa RA, **Permana H**, Triarso E, Wirasantosa S, Sulistiyo B. Gunungapi bawah laut Kawio Barat, Perairan Sangihe, Sulawesi Utara: Aktivitas dan mineralisasi hidrotermal. Proceedings of Joint Convention HAGI-IAGI. Makassar, 2011 26–29 September. Makassar: HAGI-IAGI-IAFMI-IATMI; 2011.
93. **Permana H**, Putra PS, Ismiyanto AF, Setiawan I, Hendrizon M, Mukti MM. Perkembangan cekungan antar-busur di daerah Majalengka-Banyumas; Sejarah tektonik kompleks di wilayah batas konvergensi. Proceedings of the 39th IAGI Annual Convention and Exhibition. Senggigi Beach, 2010 November 22–25. Lombok: HAGI - IAGI - IAFMI – IATMI; 2010.

Prosiding Nasional

Bahasa Inggris

94. **Permana H**, Priyadi B, Triarso E, Troa RA, Wirasantosa S, Sulistiyo B. The deepsea hydrothermal activities of Kawio Barat Volcano, Sangihe Island, North Sulawesi (Indonesia): the future of natural resources. Prosiding ITB Geothermal Workshop. Bandung, 2012, 6–8 Maret. Institut Teknologi Bandung.
95. Udrekh, Kinoshita M, Hirata K, **Permana H**, Fujiwara, Kawada Y. Heat flow study of accretionary prism of 2004 great Sumatra-Andaman Earthquakes area. (Extended abstract). Proceedings of the 39th IAGI Annual Convention and Exhibition. Senggigi Beach, 2010 November 22–25. Lombok: HAGI - IAGI - IAFMI – IATMI; 2010.
96. **Permana H**, Hirata K. Fault pattern and active deformation of outer arc ridge of northwest of Simeulue Island, Aceh, Indonesia. Bulletin of The Marine Geology. 2016, 15 Februari; 26(1): 41–50.
97. Kadarusman A, Massone H, **Permana H**, Munasri A. Contrasting protolith of cretaceous metamorphic rocks from the Luk Ulo Accretionary Wedge Complex of Central Java, Indonesia. American Geophysical Union, Fall Meeting 2005. Abstrack; 2005 Desember. T11B-0375.
98. Munasri, **Permana H**, Siregar S. Is seram island the mirror image of timor island? Proceedings of Indonesian Association of Geologists: The 28th Annual Convention. Jakarta, Indonesia, 30 November–1 Desember 1999: 51–61.
99. **Permana H**, Suharyanto A, Soebandrio, Soeria Atmadja R. Evidence of Cenozoic tectonics: implication to basement evolution and configuration of the northern part of Irian Jaya. Proceedings of Indonesian Association of Geologists: Developments in Indonesian tectonics and structural geology. 1999, 30 November–1 Desember: 33–42.

100. Sopaheluwakan J, Linthout K, Helmers H, **Permana H**. Peridotite-metamorphite relation in West Seram: Constraints to the vertical movement of the North Banda Arc. Proceedings of the Indonesian Association of Geology, XXI Annual Scientific Meeting. Yogyakarta 7 Desember 1992; 599–610.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. Continental shelf submission of Indonesia partial submission in respect of the area of North Papua. Main Body. Gov RI; 2018. 79 hlm.
2. SNI 8288:2017 Manajemen pelatihan penanggulangan bencana. ICS 12.300. BSN; 2017. 11 hlm.
3. SNI 7766:2012 Jalur evakuasi tsunami. ICS 12.300. BSN; 2012. 13 hlm.
4. SNI 7743:2011 Rambu evakuasi tsunami. SNI 7743:2011. ICS 12.300. BSN; 2011. 11 hlm.
5. Rancangan blueprint pengelolaan industri dan jasa kelautan. DKP; 2009. 34 hlm.
6. Continental shelf submission of Indonesia partial submission in respect of the area of North West of Sumatra (Main Body). Gov RI; 2008. 71 hlm.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama : Dr. Ir. Haryadi Permana, DEA
Tempat/Tanggal Lahir : Cirebon, 21 September 1960
Anak ke : Tiga (3) dari Enam (6) bersaudara
Jenis Kelamin : Laki-laki
Nama Ayah Kandung : Ahmad Zain
Nama Ibu Kandung : Retna Djuwariah
Nama Ibu Sambung : Nawang Wulan
Nama Istri : Dedeh Siti Hodijah
Jumlah Anak : Satu (1)
Nama Anak : Andes Pratama, S.Kom., CCNA
Nama Instansi : Puslit Penelitian Geoteknologi LIPI
Judul Orasi : Pemanfaatan Hasil Riset Kepingan Kerak Samudra Purba dalam Perspektif Dinamika Kerak Bumi Aktual
Bidang Kepakaran : Geologi
No. SK Pangkat Terakhir : 43/K Tahun 2018, Pembina Utama Madya IV/d
No. SK Peneliti Ahli Utama : 0038/D.1/I/2018

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Sekolah/PT/Univ	Kota/Negara	Lulus
1.	SD	SDN IV	Kadipaten, Majalengka	1972
2.	SMP	SMPN	Kadipaten, Majalengka	1975
3.	SMA	SMAN II	Cirebon	1979
4.	D1	Geologi, ITB	Bandung	1984
5.	S1	Teknik Geologi, ITB	Bandung	1986
6.	S2/DEA	Oceans, Geosciences Marines Université De Bretagne Occidentale	Brest, Perancis	1995
7.	S3	Geologie, Pétrologié Métamorphique et Structural, L'Université De Nantes	Nantes, Perancis	1998

C. Pendidikan Nonformal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Pengolahan data batimetri hasil ekspedisi Laut Kaiyo RV Kerja sama riset (LIPI, BPPT (Indonesia) – MRI, Jamstech (Jepang))	di MRI, Tsukuba, Jepang (2–29 Desember 2009)	2009
2.	Pelatihan penggunaan aplikasi pengolah peta dasar GMTmap	di IPGP, Paris, Perancis	2007
3.	Pengolahan data hasil Ekspedisi laut IASSHA (LIPI-CSIRO Join Research)	di CSIRO Sydney, Australia	2003

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
4.	Pertukaran Peneliti melalui skema JSPS (pengolahan data dengan microprobe)	di Ocean Research Institute, Tokyo (Januari–Maret 2000)	2000
5.	Pelatihan ekspedisi kelautan dari Dakar (Senegal) ke Brest (France) (L'Atalanta Research Vessel)	Bagian dari pendidikan S2	1995
6.	Kursus singkat Cross Section Restoration	di Jurusan Geologi ITB; instruktur: John J. Gallagher)	1993

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan/ Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Pjs. Kepala Seksi Pemetaan dan Sarana Penelitian Geodinamika (E 4b)	Balai Penelitian Dan Pengembangan Geodinamika, Puslitbang Geoteknologi LIPI	1991–1993
2.	Kepala Bidang Dinamika Bumi dan Bencana Geologi (E3)	Puslitbang Geoteknologi LIPI	2001–2006
3.	Kepala Pusat Penelitian (E2)	Puslit Geoteknologi LIPI	2011–2016

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Asisten Peneliti Muda golongan III/a	1-12-1989
2.	Asisten Peneliti Madya golongan III/a	1-5-1992
3.	Ajun Peneliti Muda golongan III/b	1-3-1994
4.	Ajun Peneliti Muda golongan III/c	1996
5.	Peneliti Muda golongan III/d	1-2-1999
6.	Peneliti Muda golongan III/d	1-7-2002
7.	Peneliti Ahli Madya golongan IV/a	1-1-2006
8.	Peneliti Ahli Madya golongan IV/b	1-7-2008
9.	Peneliti Ahli Madya golongan IV/c	7-10-2013
10.	Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Geologi (04.01), Tektonik (04.01.07)	7-5-2018

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Ketua Kelompok Peneliti Eksplorasi Sumber Daya Geologi	Kapuslit P2G LIPI	2020
2.	Anggota <i>Scientific Board</i> pada Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral, Balitbang ESDM, KESDM (SK No. 55.K/73/BLB/2020; 12 Maret 2020)	Kepala Badan Geologi, KESDM	2020
3.	Anggota Tim kerja sama penelitian LIPI-NTU, Taiwan : Geochemical and age constraint on the petrogenesis of magmatic rocks of Java	Kapuslit P2G LIPI	2019–2020

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
4.	Anggota PUI Material Fungsional	Kemenristek Dikti	2016–2019
5.	Anggota Tim Teknis Batas Landas Kerak Benua di luar 200 mil laut di utara Papua (di bawah koordinasi Kemenkomar)	Kemenko-maritim dan Investasi	2014–2019
6.	Anggota Dewan Riset Daerah, Prov. Jabar	Kapuslit P2G LIPI	2015–2018
7.	Advisory Board Program Kelautan Megatera, Kepulauan Mentawai (Kerja sama LIPI - IPG, Paris - EOS, Singapura - SIO, AS)	Kapuslit P2G LIPI	2015
8.	Penanggung jawab hibah kegiatan UNESCO, Jakarta (Building Model for Disaster Resilient City in Indonesia: Tsunami Hazard Capacity Building for Schools and Communities)	Kedeputian IPK LIPI	2014–2015
9.	Penanggung jawab hibah kegiatan Plan Indonesia (Prudence Foundation): Urban Safe School: 10 sekolah binaan di Jakarta Barat	Kedeputian IPK LIPI	2013–2015
10.	Anggota Tim Teknis Batas Landas Kerak Benua di luar 200 mil laut di utara Papua (di bawah koordinasi BIG)	Kepala BIG	2012–2014

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
11.	Anggota Konseptor SNI manajemen penanggulangan bencana di bawah koordinasi BSN-BNPB	Ka. BSN	2014–2017
12.	Anggota Penulisan Buku Geologi Sulawesi (di bawah koordinasi Pusat Survei Geologi-Badan Geologi)	Kapuslit PSG ESDM	2011–2013
13.	Ketua Bidang Geologi Kelautan kerja sama Ristek-ZMT/Jerman (Program Spice 3)	Kemenristek Dikti	2010–2012
14.	Anggota Komisi Batimetri Nasional (di bawah koordinasi Bakosurtanal-BIG)	Kepala BIG	2010–2019
15.	Ketua Bidang geologi dalam kerjasama ekspedisi INDEX SATAL 2010 (Hidrotermal Bawahlaut) kerjasama kelautan KKP-NOAA-BPPT	Kapus BRKP, KKP	2010
16.	Anggota Panitia Teknis 13-08 SNI Kebencanaan atau Komisi Teknis 13-08 Kebencanaan (BNPB-BSN)	BNPB	2010– sekarang
17.	Koordinator Kerja sama penelitian kelautan Indonesia (BPPT-LIPI)-Jepang (Jamstec-MRI) bidang Geologi (batimetri) di kawasan barat laut Pulau Simeulue	Kedeputian IPK LIPI	2009

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
18.	Anggota Committee on International Conference of Tsunami Warning System (Kemenristek)	Kemenristek	Bali, 12–14 November 2008
19.	Koordinator Kerja sama riset kelautan (LIPI-NOC, UK-UTIG, USA) dengan topik: Sumatra Segmentation Sonne Cruise /SO 198-2 di sekitar perairan Siberut-Nias- Simeulue (26 Juni–31 Juli 2008)	Kedepuitan IPK LIPI	2008
20.	Koordinator Kerjasama riset kelautan (LIPI-IPGP, Perancis) dengan topik: Geologi-Geofisika sepanjang pantai timur Kep. Mentawai (S. Pagai Selatan-Siberut), 15 Februari–6 Maret 2008	Kedepuitan IPK LIPI	2008
21.	Konseptor SNI Rambu evakuasi tsunami, Jalur evakuasi tsunami dan Pelatihan tsunami di bawah koordinasi BSN-BNPB-Ristek	Kemenristek- BNPB	2007–2012
22.	Ketua Bidang Penelitian dan Kajian dalam Program Penyusunan, Pengkajian dan Pengembangan Kebijakan dan Strategi (<i>Tsunami Early Warning System</i>)	Kep. Ka LIPI No. 333/A/2008	2008

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
23.	Koordinator Bidang Survey dan Kajian dalam Tim Program Pendidikan Publik dan Kesiapsiagaan Masyarakat terhadap bencana alam (tsunami dan gempa bumi)	Kep. Ka LIPI No. 250/A/2007	2007
24.	Koordinator pembuatan Buku TOT Guidebook	Program Kemenristek	2006
25.	Koordinator pembuatan draft peta evakuasi tsunami kawasan Kuta, Denpasar	Program Kemenristek	2006
26.	Koordinator Kerja sama riset kelautan” Geologi-Geofisika-Oceanografi” di perairan barat Sumatera Utara (1–31 Juli 2006), SAGER Program (LIPI-IPGP, France)	Kedeputian IPK LIPI	2006
27.	Anggota Tim Buku Biru Jasa Kelautan dan Maritim (DKP) sebagai ketua Tim bidang Mineral Laut Dalam	DKP	2005–2009
28.	Ketua LIPI-JSPS Seminar Internasional Gempa Bumi dan Tsunami (Padang, 24–28 Agustus, 2005)	Kedeputian IPK LIPI	2005
29.	Anggota Tim teknis Klaim batas Landas Kerak benua diluar 200 mil laut di utara Sumatra sebagai ketua Tim komisi Geologi (di bawah Koordinator Bakosurtanal)	Kepala Bakosurtanal	2005–2010

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
30.	Koordinator Kerja sama Riset Kelautan LIPI (Indonesia)-CSIRO (Australia) IASSHA dengan topik Aktifitas hidrotermal Bawahlaut di daerah Teluk Tomini-Gorontalo, Kep. Sangihe dan Selat Sunda	Kedeputian IPK LIPI	2001–2004
31.	Koordinator Kegiatan Pengembangan Wilayah Wamena, Jaya Wijaya, Irian Jaya	Kapuslitbang Geoteknologi LIPI	1991–1992

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Global Collo. on GeoSciences and Eng. IOP Publ. IOP Conf. Series: Earth & Envntl.	Penyaji	P2G LIPI Bandung, Indonesia,	2017
2.	The 2013 International & Workshop on Hydrography,	Penyaji	BIG. Batam Island. Indonesia	27–29 Agustus 2013
3.	ITB Geothermal Workshop	Penyaji	ITB, Bandung, Indonesia,	6–8 Maret 2012
4.	IAGI-HAGI Joint Convention	Penyaji	IAGI-HAGI; Makassar, Indonesia	26–29 September 2011

No.	Nama Kegiatan	Peran/ Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
5.	AGU Fall Meeting	Poster Session Contr.	AGU San Francisco, California. USA	13–17 Desember 2010
6.	The 39 th IAGI Annual Conv. and Exhib.	Penyaji	IAGI; Senggigi, NTB, Indonesia	22–25 November 2010
7.	Great Earthquake Meeting,	Penyaji	S Foundation; Nice, France	6–10 April 2010
8.	AOGS Seminar,	Penyaji	AOGS; Singapore	11–15 Agustus 2009
9.	1 st AOGS Seminars	Penyaji	AOGS; Suntec City, Singapore	5–9 Juli 2004
10.	IUGG 2003 Meeting	Penyaji Sesi Poster	IUGG, Sapporo, Japan	30 Juni–11 Juli 2003
11.	Seabed Hydrol. Systems of the Western Pacific: Current Research & New Directions	Penyaji	CSIRO; Riverside Auditorium, Riverside Corporate Park North Ryde, Sydney, Australia	25–26 Juni 2003

Buku ini tidak diperjualbelikan.

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Riset Geologi dan Pertambangan	P2G LIPI	Anggota Dewan Redaksi	2021
2.	Riset Geologi dan Pertambangan	P2G LIPI	Ketua Dewan Redaksi	2019–2020
3.	Riset Geologi dan Pertambangan	P2G LIPI	Anggota Dewan Redaksi	2017–2018
4.	Indonesian Journal on Geoscience, ESDM	Badan Geologi, KESDM	Mitra Bestari	2015–2021
5.	Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral, ESDM	PSG, KESDM	Mitra Bestari	2018–2019
6.	Jurnal Kelautan, Puslitbang Geologi Kelautan, ESDM	P3GL, KESDM	Mitra Bestari	2016–2020
7.	Bulletin of Marine Geology, ESDM	P3GL, KESDM	Mitra Bestari	2017–2020
8.	Jurnal Kelautan, Puslitbang Geologi Kelautan, ESDM	P3GL, KESDM	Anggota Dewan Redaksi	2007–2015
9.	Jurnal Penelitian Geosains, Teknik Geologi Univ. Hasanuddin	Teknik Geologi Univ. Hasanuddin	Mitra Bestari	2007

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	1
2.	Bersama Penulis Lainnya	106
	Total	107

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	50
2.	Bahasa Inggris	57
	Total	107

J. Pembinaan Kader Ilmiah Mahasiswa

No.	Nama Mahasiswa	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Kurnia Arfianto	Universitas Padjadjaran; S3	Penyanggah	Mulai 2020
2.	Aton Patonah	Universitas Padjadjaran; S3	Penyanggah	Mulai 2020
3.	Puguh R. Raharjo	Universitas Gajah Mada; S3	Pembimbing	Mulai 2020
4.	Edi Hidayat	Universitas Padjadjaran; S3;	Pembimbing	Mulai 2019
5.	Siti Alma Awdia	Universitas Padjadjaran; S1;	Pembimbing	2019
6.	Prahara Iqbal	Universitas Padjadjaran; S3;	Pembimbing	Mulai 2018

No.	Nama Mahasiswa	PT/Universitas	Peran/ Tugas	Tahun
7.	Dedi Mulyadi	Universitas Padjadjaran; S3;	Pembimbing	Mulai 2018
8.	Taufik Ramadhan	Universitas Padjadjaran; S1;	Pembimbing	2017–2019
9.	Fadhli Alamsyah	Universitas Padjadjaran; S1;	Pembimbing	2017–2019
10.	Vendy Hakim Ar Rosyid	Universitas Padjadjaran; S1;	Pembimbing	2017–2019
11.	Jemi Saputra Ahnaf	Universitas Padjadjaran; S1;	Pembimbing	2017–2018
12.	Yani Permanawati	Institut Pertanian Bogor; S2;	Penyanggah	2016
13.	Joko Soesilo	Institut Teknologi Bandung; S3;	Penyanggah	2012
14.	Johanes Hutabarat	Institut Teknologi Bandung; S3;	Penyanggah	2011
15.	Noor Cahyo D. Aryanto	Institut Teknologi Bandung; S3;	Pembimbing	2010–2015
16.	Aton Patonah	Institut Teknologi Bandung; S2;	Pembimbing	2007–2010
17.	Aton Patonah	Universitas Padjadjaran; S1;	Pembimbing	2001–2003

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Ikatan Ahli Geologi- IAGI (NPA: 01892)	2021
2.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia- HIMPENINDO (no. 8021096001)	2021

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya XXX Tahun	Presiden RI	2017
2.	Satyalancana Pembangunan	Presiden RI	2014
3.	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Presiden RI	2008
4.	Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden RI	1999



LIPI Press

Gedung PDDI LIPI, 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



Buku ini tidak diperjualbelikan.