

Analisis Geomorfologi dan Oseanografi untuk Identifikasi Tipologi Pulau Kecil di Kepulauan Maluku Utara dan Karimunjawa

Bachtiar W. Mutaqin^{1,*}, Diki A. Amanatulloh¹, Taufik B. Waskita¹, Muh Aris Marfai^{1,2}, Muhammad N. Isnain¹, Mulyadi Alwi¹, M. Rokhis Khomarudin³

¹⁾ Kelompok Studi Kepesisiran dan DAS, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Bulaksumur 55281 Yogyakarta

²⁾ Badan Informasi Geospasial, Jl. Raya Jakarta - Bogor KM. 46 Cibinong 16911 Bogor

³⁾ Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN Jl. Kalisari No. 8, Pasar Rebo 13710 Jakarta
*mutaqin@ugm.ac.id

Abstract

Small islands in Indonesia have a vital role in developing social, economic, cultural, environmental, and national sovereignty. On the other hand, small islands are also very vulnerable to natural disasters and dynamics and/or human activities. Threats and disasters that exist on small islands can vary according to the characteristics and typology of the island. This study aims to identify the typology of small islands by utilizing geospatial data to analyze geomorphological parameters, including morphology, materials, processes, and oceanographic parameters such as the presence of coral reef ecosystems. The stages in this research are divided into three, namely pre-field, field measurement, and post-field. Pre-field activities include formulating the characteristics of each island typology through literature studies and geospatial processing data, such as DEM and SPOT 7 satellite imagery, for the preparation of thematic maps. The field stage includes terrestrial surveys in the form of aerial photography, profiling, validation of interpretation results, and diving. The post-field step is carried out to process and analyze the results of the terrestrial survey conducted at the field stage. The analysis was carried out descriptively based on the results of data processing to determine the typology of the islands studied in this research case study. Based on the parameters that have been set and the results of field measurements, the islands of Mare and Tidore in the North Maluku Islands and Karimunjawa and Kemujan islands in the Karimunjawa Islands are categorized as small volcanic islands. Meanwhile, Cemara Besar Island in the Karimunjawa Islands is a small atoll island. Threats to small volcanic islands can be in the form of geological disasters such as earthquakes, volcanic eruptions, and tsunamis. On small atoll islands, the threat that lurks is related to the lack of freshwater and the physical-morphological dynamics of the island, which is strongly controlled by hydro-oceanographic characteristics.

Keywords: *geospatial, small volcanic island, small atoll island, morphology, disaster.*

Abstrak

Pulau-pulau kecil di Indonesia memiliki peranan vital dalam pengembangan sosial, ekonomi, budaya, lingkungan, dan kedaulatan bangsa. Di sisi lain, pulau kecil juga sangat rentan terhadap bencana maupun perubahan alam dan/atau aktivitas manusia. Ancaman dan bencana yang ada di pulau kecil dapat berbeda-beda mengikuti karakteristik dan tipologi pulau tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi tipologi pulau kecil dengan memanfaatkan data geospasial dalam analisis parameter geomorfologi yang meliputi morfologi, material, proses, serta parameter oseanografi seperti keberadaan

ekosistem terumbu karang. Tahapan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga, yaitu pra lapangan, pengukuran lapangan, dan pasca lapangan. Kegiatan pra lapangan meliputi perumusan karakteristik masing-masing tipologi pulau melalui studi literatur serta pengolahan data geospasial, seperti DEM dan citra satelit SPOT 7, untuk penyusunan peta tematik. Tahap lapangan meliputi survei terestris berupa pengambilan foto udara, profiling, validasi hasil interpretasi, dan penyelaman. Tahap pasca-lapangan dilakukan untuk mengolah dan menganalisis hasil survei terestris yang dilakukan pada tahap lapangan. Analisis dilakukan secara deskriptif berdasarkan hasil pengolahan data untuk menentukan tipologi pulau-pulau yang dikaji dalam studi kasus penelitian ini. Berdasarkan pada parameter yang telah ditetapkan dan hasil pengukuran lapangan, maka Pulau Mare dan Tidore di Kepulauan Maluku Utara serta Pulau Karimunjawa dan Kemujan di Kepulauan Karimunjawa dikategorikan sebagai pulau kecil vulkan. Sedangkan Pulau Cemara Besar di Kepulauan Karimunjawa merupakan pulau kecil atol. Ancaman bagi pulau kecil vulkan dapat berupa bencana geologi seperti gempa bumi, erupsi gunung api, dan tsunami. Pada pulau kecil atol, ancaman yang mengintai berkaitan dengan minimnya sumberdaya air tawar dan dinamika fisik-morfologi pulau yang sangat dikontrol oleh karakteristik hidro-oseanografi.

Kata kunci: *geospasial, pulau kecil vulkan, pulau kecil atol, morfologi, kebencanaan.*

DOI: [10.20527/jpg.v9i1.12459](https://doi.org/10.20527/jpg.v9i1.12459)

Received : 11 Januari 2022; **Accepted :** 17 Februari 2022; **Published :** 21 Maret 2022

How to cite: Mutaqin B.W., Amanatulloh D.A., Waskita T.B., Marfai M.A., Isnain M.N., Alwi M., Khomarudin M.R. (2022). Analisis Geomorfologi dan Oseanografi untuk Identifikasi Tipologi Pulau Kecil di Kepulauan Maluku Utara dan Karimunjawa. *JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)* Vol. 9 No. 1, 1-16.
<http://dx.doi.org/10.20527/jpg.v9i1.12459>

© 2022 JPG (Jurnal Pendidikan Geografi)

*) Corresponding Author

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan terdiri dari setidaknya 99,8% pulau dengan luas wilayah kurang dari 2.000 km² atau tergolong dalam klasifikasi pulau kecil (Kodoatie, 2012). Secara ekologis, pulau kecil cenderung memiliki ekosistem dan keanekaragaman hayati yang tinggi jika dilihat dari proporsi ukuran pulaunya. Oleh karena itu, pengelolaan pulau-pulau kecil sangat penting untuk dilakukan sesuai dengan yang telah diamanatkan oleh Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil.

Undang-undang tersebut menyebutkan bahwa wilayah pulau-pulau kecil memiliki peranan vital dalam pengembangan sosial, ekonomi, budaya, lingkungan, dan kedaulatan bangsa. Sebagai contoh, sumberdaya bahari yang terdapat di wilayah pulau-pulau kecil dapat dikelola dan dimanfaatkan untuk kegiatan ekowisata bahari yang berkelanjutan dengan memanfaatkan bentang alam laut dan pesisirnya (Yulianda, *et al.*, 2010; Umar, 2018; Rif'an, 2018; Ketjulan, *et al.*, 2019).

Di sisi lain, pulau kecil di Indonesia juga sangat rentan terhadap bencana maupun

perubahan alam dan/atau aktivitas manusia (Koroy, *et al.*, 2017; Mutaqin, *et al.*, 2021a). Potensi dan ancaman bencana yang senantiasa mengintai antara lain kerusakan sumberdaya airtanah, kekeringan meteorologis, kenaikan muka air laut, serta bencana geologi seperti gempa bumi, erupsi gunungapi, dan tsunami (Tahir, *et al.*, 2009; Cahyadi, *et al.*, 2013; Giardino, *et al.*, 2018; Narulita, *et al.*, 2019; Ramadhan, *et al.*, 2019; di Friedberg, *et al.*, 2020; Mueller, *et al.*, 2020).

Dalam konteks kebencanaan, proses penanggulangan bencana di pulau-pulau kecil di Indonesia akan membutuhkan upaya yang lebih intensif jika dibandingkan dengan penanggulangan bencana di pulau besar, seperti Sumatra, Jawa, atau Sulawesi. Hal ini disebabkan karena pulau kecil mempunyai luas wilayah yang sempit ($< 2.000 \text{ km}^2$), insularitas pulau, ketergantungan kepada pulau lain, dan tingginya kerentanan ekosistem (Wilkinson, *et al.*, 2016; Mutaqin, *et al.*, 2021a).

Sejalan dengan itu, perlu dipahami bahwa potensi ancaman dan bencana yang ada di pulau kecil dapat berbeda-beda. Hal ini salah satunya disebabkan karena masing-masing pulau mempunyai karakteristik dan tipologi pulau yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Forbes, *et al.* (2013) menyebutkan bahwa setidaknya ada empat klasifikasi pulau, yaitu pulau kontinen, vulkanik, atol, dan kapur/karang terangkat. Berdasarkan klasifikasi tersebut, kita dapat memahami bahwa potensi sumberdaya alam dan ancaman yang ada di pulau vulkanik, misalnya, tentu akan berbeda dengan pulau atol maupun tipe pulau yang lain. Sebagai contoh, ketersediaan air tawar yang berbeda, perbedaan kesuburan tanah terkait dengan jenis material, kepadatan vegetasi, maupun adanya ancaman dari kenaikan muka air laut atau erupsi gunungapi (Woodroffe dan McLean, 1994; Koroy, *et al.*, 2017; Mutaqin, *et al.*, 2021a; Faral, *et al.*, 2022).

Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi dan pemetaan tipologi pulau-pulau kecil di Indonesia sehingga upaya pemanfaatan sumberdaya, penanggulangan bencana, maupun perencanaan pembangunan di masa mendatang dapat dilakukan secara tepat sasaran. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi tipologi pulau kecil dengan memanfaatkan data geospasial melalui analisis parameter geomorfologi yang meliputi morfologi, material, proses, serta parameter oseanografi seperti keberadaan ekosistem terumbu karang.

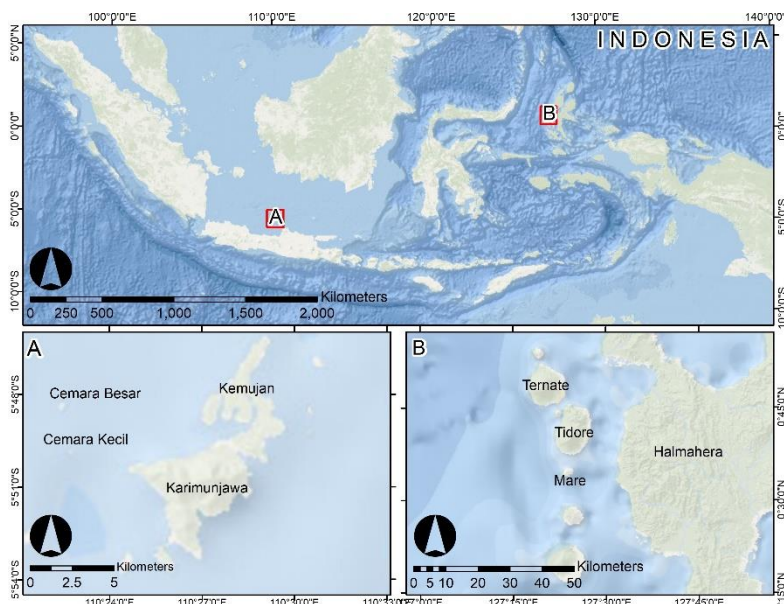
Pulau-pulau kecil yang dijadikan studi kasus adalah yang berada di Kepulauan Maluku Utara dan Karimunjawa (Gambar 1) dengan beberapa pertimbangan, seperti ketersediaan data geospasial serta adanya kekhasan wilayah kepulauan seperti insularitas, ketergantungan antar wilayah, keterbatasan sumberdaya alam non-bahari, jumlah penduduk yang tinggi yang disertai dengan sarana prasarana serta fasilitas publik dengan pusat aktivitas penduduk yang memiliki ciri fisik morfologi perkotaan.

2. Metode

Penelitian dilakukan di Pulau Tidore dan Mare di Kepulauan Maluku Utara serta Pulau Karimunjawa, Kemujan, dan Cemara Besar di Kepulauan Karimunjawa. Data geospasial yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta Rupabumi Indonesia skala 1:25.000 dan 1:50.000, masing-masing untuk wilayah Karimunjawa dan Maluku Utara, data DEMNAS dengan skala 0,27-arcsecond dan BATNAS dari Badan Informasi Geospasial, peta geologi skala 1:100.000 (Karimunjawa) dan 1:250.000 (Maluku Utara) dari Badan Geologi, dan citra satelit SPOT 7 dengan resolusi spasial 6 meter. Selain itu, kami menggunakan data sebaran terumbu karang dari UNEP World Conservation Monitoring Center (UNEP-WCMC) dan WorldFish Center (UNEP-WCMC, *et al.*, 2021).

Secara umum, penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu pra lapangan, lapangan,

dan pasca lapangan. Saat tahap pra lapangan, dilakukan studi literatur untuk menyusun parameter geomorfologi dan oseanografi untuk masing-masing tipologi pulau kecil. Selain itu, dilakukan pula pengolahan data geospasial dan interpretasi secara visual memanfaatkan teknik Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk penyusunan peta tematik, seperti karakteristik topografi, penutup lahan, pola aliran permukaan, maupun sebaran terumbu karang.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Kepulauan Karimunjawa (a) dan Kepulauan Maluku Utara (b).

Survei terestris dilakukan melalui observasi dan pengukuran secara langsung di lapangan dengan metode jalur transek. Di darat dilakukan profiling dengan menggunakan laser telemetri dan yalon, sedangkan di laut dilakukan Line Intercept Transect (LIT) melalui penyelaman dengan alat SCUBA (Gambar 2). Jalur transek ditentukan berdasarkan karakteristik geomorfologi dan oseanografi yang representatif di wilayah kajian. Kompleksitas jenis material dan karakteristik relief dijadikan acuan dalam menentukan jalur transek agar kondisi geomorfologi dan oseanografi di wilayah kajian seluruhnya dapat teridentifikasi dan terpetakan.



Gambar 2. Profiling di darat (a) dan pengukuran profil bawah laut dengan penyelaman (b).

Teknik *stratified sampling* berdasarkan variasi topografi, jenis material permukaan, dan

penutup lahan juga dilakukan untuk observasi geomorfologi di wilayah kajian. Adapun komponen-komponen observasi dan pengukuran yang dikaji secara langsung di lapangan meliputi: singkapan, struktur, morfologi (morfometri dan morfografi), material, sebaran terumbu karang, dan proses geomorfologi. Data-data hasil observasi dan pengukuran kemudian direkapitulasi, diolah, dan dianalisis pada tahap pasca lapangan.

Tahap pasca lapangan dilakukan untuk mengolah dan menganalisis hasil survei terestris yang dilakukan pada tahap lapangan. Pengolahan data yang dilakukan antara lain tabulasi data, pembuatan diagram, dan penyusunan peta. Analisis dilakukan secara deskriptif berdasarkan hasil pengolahan data untuk menentukan tipologi pulau-pulau yang dikaji dalam studi kasus penelitian ini.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Parameter tipologi pulau kecil

Berdasarkan studi literatur, dirumuskan tujuh parameter sebagai acuan dalam identifikasi tipologi pulau kecil menurut Forbes, *et al.* (2013) seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Tipologi Pulau-pulau Kecil

No	Parameter	Tipologi			
		Kontinen	Vulkanik	Atol	Kapur / Karang terangkat
1	Luas	Lebih kecil atau sama dengan 2.000 km ² (dua ribu kilometer persegi)			
2	Material	Granit dan basalt hasil relokasi batas lempeng	Hasil proses vulkanik (material piroklastik, lava, debris avalanche), sub-aerial deposisi	Terumbu atau pecahan terumbu	Material karbonat atau karang
3	Lokasi	Dikelilingi oleh landas kontinen yang dangkal atau < 200 m	Terpisah dari pulau utama / hotspot dan dekat dengan zona subduksi	Elevasi maksimum yang sangat rendah dan area yang terbatas	Pada busur depan dekat zona subduksi
4	Sungai	Tidak ada ciri khusus	Biasanya sungai kecil musiman, pola alirannya radial sentrifugal	Ketersediaan air tawar sangat sedikit	Kemungkinan muncul sungai bawah tanah
5	Penggunaan lahan	Tidak ada ciri khusus	Vegetasi terkonsentrasi di lereng gunung, permukiman terkonsentrasi di kaki gunung/ sepanjang pantai	Vegetasi yang tidak membutuhkan air tawar, biasanya jarang ada penduduk	Biasanya didominasi oleh hutan atau vegetasi rapat
6	Fitur	Teras pantai sempit	Terdapat cone/crater/ kaldera/domes/maar aktif dan tidak aktif, relief kasar/ pegunungan, lereng curam	Biasanya berbentuk cincin, elevasi maksimum sangat rendah, luas lahan yang terbatas, dan batas air tawar yang tipis	Dapat ditemukan sistem gua yang luas, terdapat beberapa gisik saku
7	Asosiasi	Terdapat terumbu tepi yang terputus	Biasanya dikelilingi oleh terumbu tepi/terumbu penghalang	Dikelilingi oleh karang penghalang atau laguna dengan tepian berupa pulau karang	Biasanya dikelilingi oleh teras dan tebing, mewakili berbagai fase kenaikan, dengan karang tepi yang sangat sempit pada <i>wave-cut platform</i>

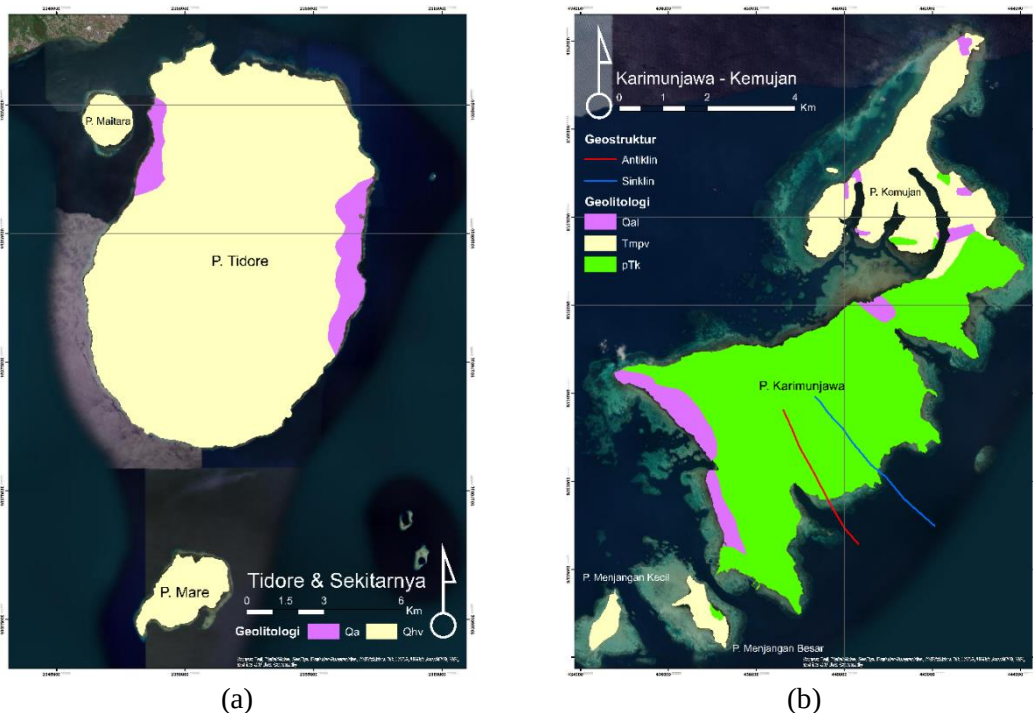
Sumber: Kompilasi dari Murphy (1949); Woodroffe dan McLean (1994); Thouret (1999); Jackson, *et al.* (2005); Kench, *et al.* (2005); Kervyn, *et al.* (2007); UU No. 27 Tahun 2007; Forbes, *et al.* (2013); Napieralski, *et al.* (2013); Santamarta, *et al.* (2014); Velmurugan (2018); Chan, *et al.* (2019); van den Broek, *et al.* (2019); Coello-Bravo, *et al.* (2020); Stokes dan Gomes (2020); Mutaqin, *et al.* (2021a).

3.2. Ekstraksi data geospasial

Informasi yang diekstrak dari data geospasial yang sudah dikumpulkan antara lain peta topografi, relief permukaan, penggunaan lahan, formasi geologi, kondisi perairan sekitar, jarak pulau dengan zona subduksi, pola aliran permukaan, dan sebaran terumbu karang. Adapun parameter lain seperti kondisi material permukaan dan ketersediaan air tawar diobservasi secara langsung di lapangan.

Wilayah kajian yang terletak di Kepulauan Maluku Utara terbagi atas dua mandala geologi, meliputi: Mandala Halmahera Timur dan Mandala Halmahera Barat. Material dasar yang terdapat di Kepulauan Maluku Utara, khususnya Pulau Mare, Tidore, Maitara, dan Ternate didominasi oleh batuan Formasi Gunungapi Kuarter yang berumur holosen (Qhv) (Gambar 3a). Beberapa gunungapi yang terdapat di wilayah ini antara lain: Gunungapi Gamalama di Pulau Ternate, serta Gunungapi Telaga dan Gunungapi Kiematubu di Pulau Tidore (Marfai, *et al.*, 2021; Riasasi, *et al.*, 2021; Mutaqin, *et al.*, 2021b).

Formasi Qhv terdiri dari breksi gunungapi, lava, tufa, dan abu vulkanik. Breksi gunungapi terdiri dari andesit piroksen yang berwarna kelabu tua. Keterdapatannya material sedimen alluvium (Qa) dapat ditemui di sisi Timur dan Barat Pulau Tidore. Material sedimen ini salah satunya berasal dari aliran permukaan yang berpola radial sentrifugal menuruni Gunungapi Telaga dan Kiematubu (Mutaqin, *et al.*, 2021b). Dominasi material berupa batuan vulkanik yang dapat dilihat dari kondisi geolitologi wilayah kajian merupakan salah satu ciri khas tipologi pulau vulkan (Thouret, 1999; Kervyn, *et al.*, 2007; Chan, *et al.*, 2019; Napieralski, *et al.*, 2013; Coello-Bravo, *et al.*, 2020; Mutaqin, *et al.*, 2021a).



Gambar 3. Peta geologi sebagian Kepulauan Maluku Utara (a) sebagian Kepulauan

Karimunjawa (b).

Sama halnya dengan Pulau Tidore dan sekitarnya, karakteristik geolitologi di Kepulauan Karimunjawa juga didominasi oleh formasi batuan vulkanik (Gambar 3b). Formasi Karimunjawa (pTk) berumur pra-tersier yang terdiri dari batuan sedimen kuarsa (batupasir, konglomerat, batulanau, dan batuserpih). Formasi ini terkonsentrasi di Pulau Karimunjawa dan Kemujan serta tersebar secara tidak merata di beberapa pulau kecil di sekitarnya. Formasi Parang (Tmvp) di Kemujan, Menjangan Besar, dan Menjangan Kecil berumur tersier yang terdiri dari batuan breksi vulkanik, tuf, dan endapan lava. Formasi Parang memiliki setting tektonik berupa gunungapi busur belakang yang merupakan bagian dari rangkaian gunungapi busur belakang di Utara Pulau Jawa akibat adanya sobekan pada Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Pulau Jawa. Aluvium dan endapan pesisir (Qal) berumur kuartar yang tersebar di sebagian besar pesisir Barat Daya Pulau Karimunjawa, Pulau Menjangan Besar, Pulau Menjangan Kecil, dan Pulau Bengkoang (Sidarto, *et al.*, 1993; Hartanto dan Hadi, 2007).

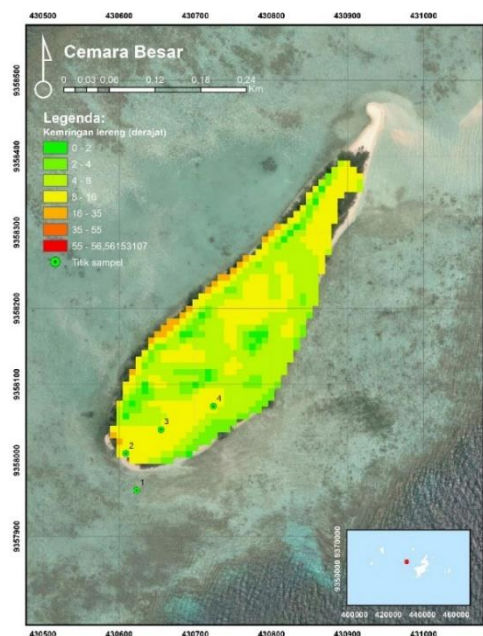
Pulau Karimunjawa memiliki struktur geologi berupa lipatan (sinklinal dan antiklinal) dengan arah Baratlaut-Tenggara (Sidarto, *et al.*, 1993). Wilayah Kepulauan Karimunjawa terletak berjauhan dengan zona subduksi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia yang terletak di Selatan Pulau Jawa. Namun, di wilayah ini terdapat rangkaian gunungapi yang terbentuk akibat adanya robekan pada Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia sehingga terbentuk rangkaian gunungapi di belakang busur utama rangkaian gunungapi di Pulau Jawa (*back-arc volcanism*). Beberapa gunungapi yang terbentuk di wilayah ini antara lain: Gunungapi Muria, Gunungapi Lasem, Gunungapi Genuk, dan Gunungapi Karimunjawa-Parang. Sebagian besar dari gunungapi tersebut telah tererosi secara masif sehingga bentuknya sulit atau tidak bisa dideteksi secara visual. Pulau-pulau kecil vulkan dicirikan memiliki asosiasi dengan zona subduksi (Santamarta, *et al.*, 2014; Stokes & Gomes, 2020; Mutaqin, *et al.*, 2021a). Secara geostruktur, sesar banyak berkembang di Kepulauan Maluku Utara terutama di Pulau Halmahera. Perkembangan sesar yang terdapat di wilayah kajian terutama dipicu oleh aktivitas Lempeng Filipina, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Eurasia. Perbedaan arah gerak, jenis tumbukan yang tidak frontal, serta perbedaan material penyusun ketiga lempeng ini mengakibatkan adanya sempalan kerak benua (*detached continental crust*) (Cardwell & Isacks, 1978; Sardjono, 1999). Sesar yang berkembang di Kepulauan Maluku Utara didominasi oleh arah Baratlaut-Tenggara dan Timurlaut-Baratdaya. Jenis sesar tidak mudah untuk diidentifikasi secara langsung di lapangan. Namun, bidang sesar dapat dijumpai di lapangan berupa zona hancuran. Adanya sesar yang berkembang pada wilayah ini, memunculkan potensi adanya bencana gempa bumi.

Secara topografis, keterdapatannya material endapan dapat dideteksi melalui kenampakan lereng yang landai dan dekat dengan perairan laut. Secara umum, material permukaan di Pulau Tidore tidak dapat terlepas dari kondisi geolitologi wilayah kajian. Proses pembentukan tanah (pedogenesis) banyak berkembang pada batuan induk vulkanik. Namun, proses pedogenesis juga berlangsung melalui batuan induk sedimen karena adanya translokasi. Menurut Ladjinga, *et al.* (2020), jenis tanah di wilayah ini adalah berupa *Aquandic Dystrupts* dan *Ruptic Alfic Dystrudepts* yang berumur muda dan belum mengalami pelapukan lanjutan.

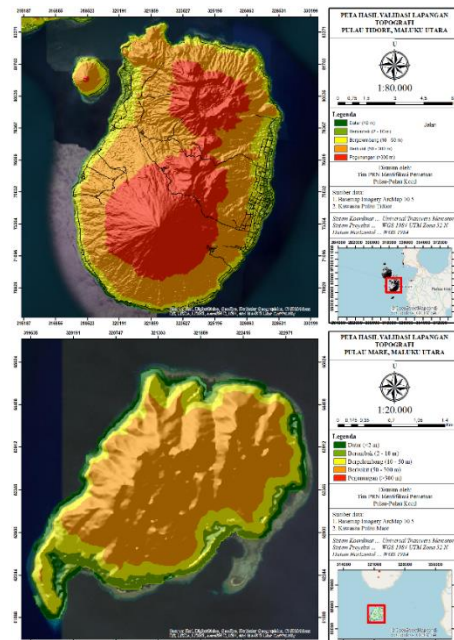
Material permukaan di Karimunjawa dapat dikenali dari umur batuan dasarnya. Pada wilayah dengan batuan dasar Formasi Karimunjawa, ditemukan tanah dengan kedalaman lapisan tebal berwarna cokelat terang hingga cokelat gelap. Pada wilayah dengan batuan

dasar Formasi Parang, ditemukan tanah dengan kedalaman lapisan tebal yang memiliki warna cenderung gelap. Di wilayah pesisir yang didominasi material aluvium dan endapan pesisir, materialnya didominasi pasir putih halus (belum terjadi pedogenesis). Material permukaan yang terdapat di wilayah kajian banyak memengaruhi jenis penutup dan penggunaan lahan (Forbes, *et al.*, 2013; Velmurugan, 2018).

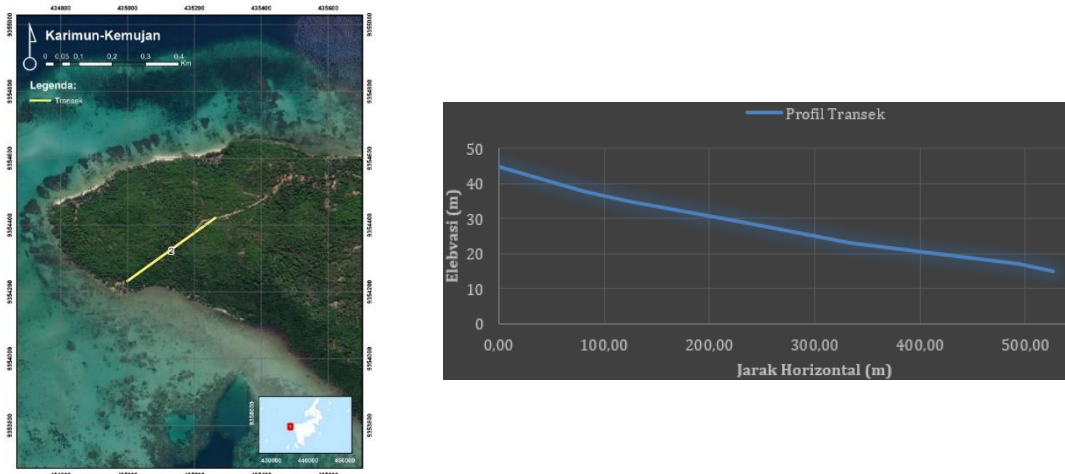
Relief pulau kecil yang tersusun atas deposit kepeesisiran seperti Cemara Besar biasanya relatif datar (Woodroffe dan McLean, 1994) (Gambar 4a) karena tenaga endogen yang membentuk relief pulau cenderung minim. Variasi topografi dipengaruhi oleh faktor hidro-oseanografi seperti arus, gelombang, dan tinggi muka air laut. Kondisi perairan di sekitar Cemara Besar cenderung tenang, oleh karenanya dinamika geomorfologi terkait relief di wilayah ini kurang dinamis. Namun, ketika suatu saat terjadi kenaikan muka air laut, pulau dengan karakteristik seperti ini cenderung rawan tenggelam atau hilang. Berbeda dengan pulau kecil vulkanik, seperti Tidore dan Mare di Maluku Utara (Mutaqin, *et al.*, 2021a; Gambar 4b) serta Karimunjawa dan Kemujan di Karimunjawa (Gambar 4c), yang memiliki topografi heterogen dari landai hingga terjal. Pembentukan topografi semacam ini disebabkan oleh adanya tenaga endogen dari aktivitas vulkanik.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Relief Cemara Besar yang relatif datar dengan kemiringan dominan 2-4° (a), relief Tidore, Maitara, dan Mare yang dominan berbukit atau pegunungan (b), dan contoh profil melintang di sisi Barat Pulau Karimunjawa (c).

Meskipun tidak rawan tenggelam, namun pulau kecil vulkan seperti Tidore perlu memperhatikan sejarah erupsi gunungapi pada masa lampau. Di Tidore tercatat ada dua gunungapi yang pernah erupsi besar pada masa lalu, yaitu Gunungapi Telaga di sisi utara pulau dan Gunungapi Kie Matubu di sisi selatan pulau (Faral, *et al.*, 2022). Hingga saat ini, Kie Matubu dan Telaga tidak masuk dalam pemantauan gunungapi karena erupsinya yang terjadi sebelum ada penduduk di Tidore sehingga tidak ada catatan tertulis. Apabila tipologi pulau adalah pulau vulkan dan ada catatan sejarah erupsi pada masa lampau, maka upaya mitigasi bencana perlu dilakukan secara komprehensif. Hal ini penting dilakukan mengingat prinsip uniformitarianisme dan kejadian seperti Gunungapi El Chichón di Meksiko tahun 2000 dan Gunungapi Sinabung di Sumatra tahun 2010 yang erupsi setelah 500 tahun tertidur (Espíndola, *et al.*, 2000; Hendrasto, *et al.*, 2012; Faral, *et al.*, 2022).

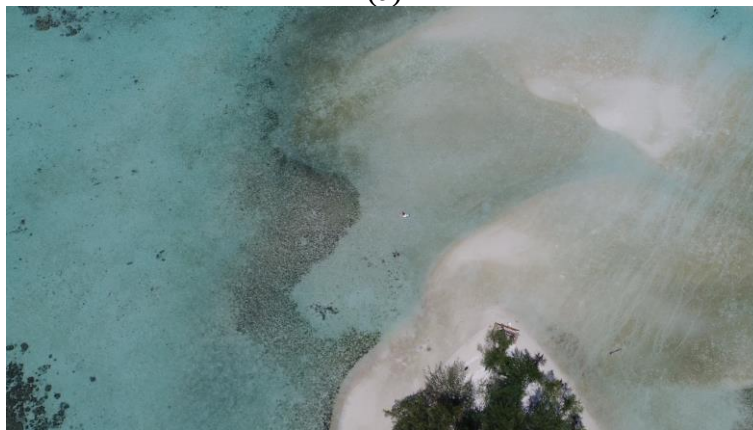
Karakteristik topografi pada pulau-pulau kecil vulkan seperti di Kepulauan Maluku Utara dan Pulau Karimunjawa memengaruhi pola aliran permukaan. Pola aliran radial sentrifugal adalah pola aliran yang umum ditemui pada pulau-pulau kecil vulkan (Santamarta, *et al.*, 2014; Mutaqin, *et al.*, 2021a). Pola aliran jenis ini memiliki aliran yang menyebar dari suatu pusat yang elevasinya lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah di sekeliling pusatnya dan menjadi asal mula sungai konsekuen di suatu lereng gunungapi. Selain biasa dijumpai di bentuklahan hasil vulkanisme seperti gunungapi, pola aliran jenis ini juga dapat ditemukan pada bentukan-bentukan kubah dan lakolit. Pola aliran lain juga dapat ditemui pada Pulau Tidore, di mana terdapat kaldera pada puncak Gunungapi Telaga (Marfai, *et al.*, 2021; Riasasi, *et al.*, 2021; Mutaqin, *et al.*, 2021b). Di wilayah ini, ditemukan pula pola aliran radial sentripetal dengan karakteristik aliran memusat ke suatu tempat dengan elevasi lebih rendah dibandingkan dengan tempat di sekelilingnya. Pola aliran jenis ini juga dapat ditemui pada cekungan antargunungapi (*inter-volcano basin*). Pola aliran berbeda dapat ditemui pada tipologi pulau kecil yang berbeda. Untuk pulau kecil kontinental, berbagai macam pola aliran dapat ditemui bergantung dengan kondisi topografi dan struktur geologinya. Di pulau kecil atol, aliran permukaan cenderung langka atau bahkan tidak ada dan kondisi ini ditemui di Cemara Besar di Kepulauan Karimunjawa. Pulau-pulau kecil kapur/karang terangkat biasanya memiliki sistem aliran sungai bawah tanah akibat adanya proses pelarutan material permukaan oleh air dan/atau

aktivitas biologi yang dilakukan oleh organisme (Woodroffe dan McLean, 1994; Forbes, *et al.*, 2013; Santamarta, *et al.*, 2014).

Dari aspek oseanografi, pulau kecil biasanya dikelilingi oleh laut dangkal dengan kedalaman kurang dari 200 m dan dihuni oleh ekosistem bentik di dalamnya (Jackson, *et al.*, 2005). Gambar 3b dan 4a menunjukkan bahwa dasar perairan laut dangkal di sekitar perairan Cemara Besar dan Karimunjawa dapat terpantulkan jelas oleh sensor dan dapat diamati ekosistem yang ada di atasnya. Terdapat variasi topografi dasar laut di sekitar perairan Cemara Besar, di mana ketika muka air laut mengalami penurunan, akan muncul gosong-gosong kecil di sekitar pulau (Gambar 5). Terlihat material dasar perairan laut dangkal berupa pasir putih halus cenderung homogen dengan material pada pesisir pulau dan gosong yang terletak di sebelah Utara pulau. Hal ini menunjukkan bahwa material penyusun pulau dan dasar laut di sekitarnya seragam, yaitu deposit kepepesisiran yang belum berkembang.



(a)



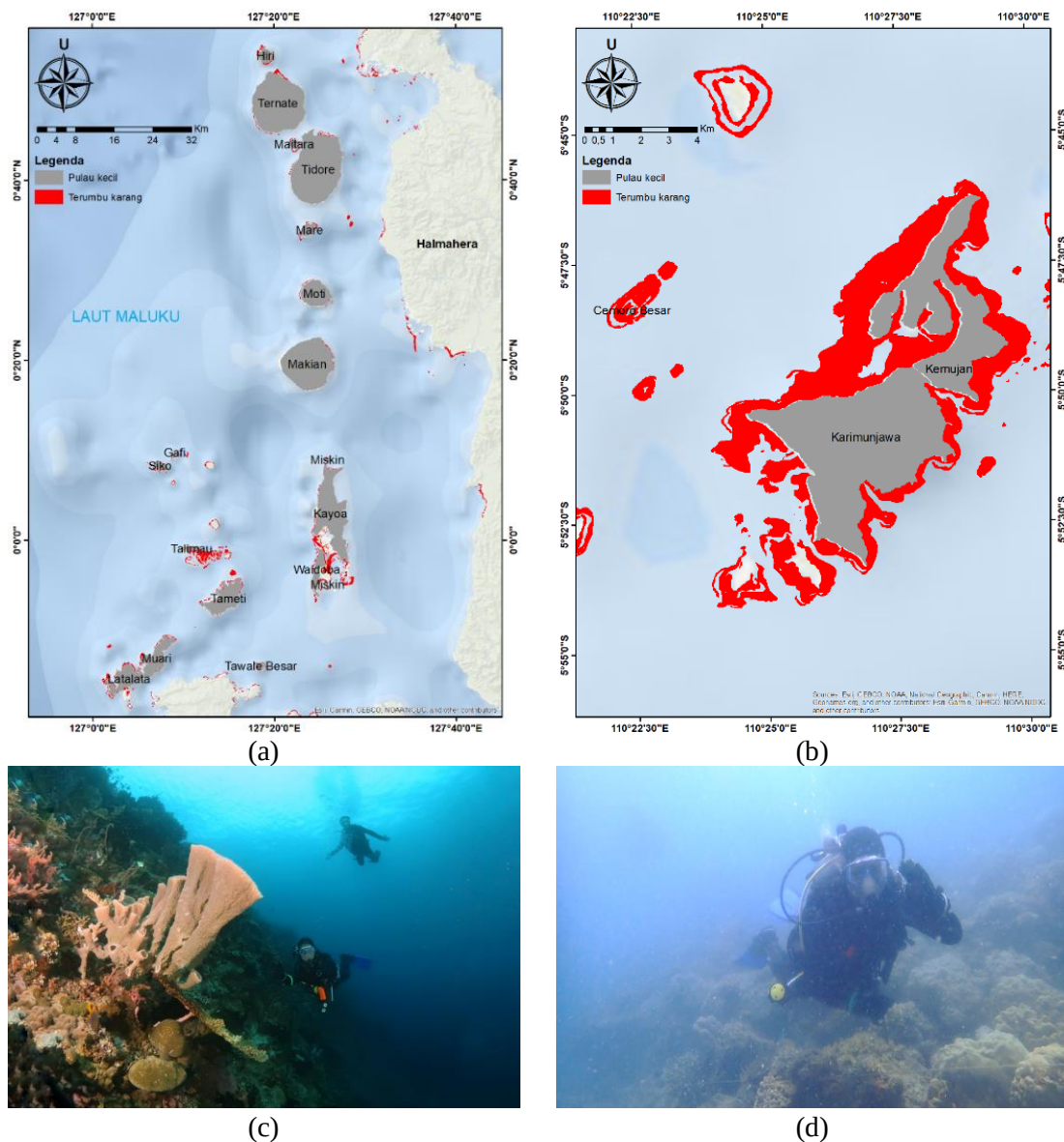
(b)

Gambar 5. Material pasir putih halus di Cemara (a) dan gosong-gosong kecil di sekitar pulau Cemara Besar yang terlihat saat air surut (b).

Sebaran ekosistem laut khususnya terumbu karang di Kepulauan Maluku Utara dan Karimunjawa dari hasil pengolahan data UNEP-WCMC (2021) dan pengamatan lapangan memiliki pola persebaran yang bervariasi (Gambar 6). Sebaran spasial terumbu karang di Maluku Utara mempunyai pola yang beragam dari Hiri di sisi paling Utara hingga Tawale Besar di sisi paling Selatan gugusan pulau-pulau kecil di Barat Halmahera

(Gambar 6c). Pulau Hiri, Ternate, Tidore, Mare, Moti, Makian, Tameti, dan Muari merupakan pulau di Kepulauan Maluku Utara yang memiliki distribusi terumbu karang yang dominan di bagian Utara pulau, berbeda dengan Pulau Maitara dan Talimau yang memiliki distribusi terumbu karang merata di seluruh sisi pulau (Gambar 6a).

Terumbu karang menjadi bagian detail dalam parameter penentuan tipologi pulau kecil, yaitu parameter material dan asosiasi. Terumbu karang menjadi syarat penentu 3 tipe tipologi pulau kecil, yaitu fragmen kontinen, vulkanik, dan atol. Sebaran spasial terumbu karang di Kepulauan Karimunjawa memiliki pola sebaran yang merata di seluruh bagian kepulauan sebagaimana ciri khas tipologi pulau vulkan, yaitu dikelilingi oleh terumbu tepi/terumbu penghalang (Gambar 6b) (Murphy, 1949; Thouret, 1999; Velmurugan, 2018), serta tipologi pulau atol, yaitu dikelilingi oleh karang penghalang atau laguna dengan tepian berupa pulau karang (Gambar 6d) (Kench, *et al.*, 2005; Woodroffe, 2008; Forbes, *et al.*, 2013).



Gambar 6. Peta sebaran terumbu karang di sebagian Kepulauan Maluku Utara (a) dan di sebagian Kepulauan Karimunjawa (b). Kondisi terumbu karang yang mengikuti kemiringan

lereng di perairan Pulau Tidore (c) dan karang penghalang di perairan Cemara Besar pada relief yang landai (d). Sumber: UNEP-WCMC (2021); survei lapangan (2021).

Selain faktor fisik, pola distribusi terumbu karang dapat dipengaruhi oleh faktor hidro-oseanografi seperti suhu perairan, cahaya matahari, salinitas, sedimentasi, kualitas perairan, arus dan sirkulasi air laut, dan substrat (Mutaqin, *et al.*, 2018; Mutaqin, 2020). Berdasarkan analisis geomorfologi dari beberapa parameter yang telah disampaikan sebelumnya serta analisis oseanografi melalui sebaran spasial dan tipe terumbu karang, maka tidak seperti pulau lainnya yang masuk dalam kategori pulau kecil vulkan, Cemara Besar dapat dikategorikan ke dalam tipologi pulau kecil atol.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis geomorfologi dan oseanografi melalui parameter-parameter yang telah ditentukan, maka dapat disimpulkan bahwa Pulau Mare, Tidore, Karimunjawa, dan Kemujan termasuk kategori pulau kecil vulkan. Pulau Mare dan Tidore di Kepulauan Maluku Utara keberadaannya dipicu oleh aktivitas zona subduksi tiga lempeng (Filipina, Indo-Australia, dan Eurasia), sedangkan Pulau Karimunjawa dan Kemujan di Kepulauan Karimunjawa dipicu oleh adanya robekan pada Lempeng Indo-Australia yang menunjam Lempeng Eurasia sehingga memunculkan rangkaian pegunungan busur belakang. Material pada keempat pulau tersebut didominasi oleh batuan vulkanik yang berumur pra-tercier hingga kuartar. Relief daratan pada pulau-pulau tersebut menunjukkan adanya bentukan khas kegunungapian yang berimplikasi pada pola aliran permukaan yang khas. Pulau Cemara Besar di Kepulauan Karimunjawa dapat dikategorikan sebagai pulau kecil atol yang dicirikan oleh minimnya sumberdaya air tawar dan tidak memiliki aliran permukaan sama sekali. Material penyusun pulau terdiri dari deposit kepebisiran yang seragam dengan material yang ditemukan pada dasar perairan laut dangkal di sekitarnya, yaitu berupa terumbu karang yang mendominasi dan gosong yang keberadaannya dikontrol oleh kondisi pasang surut dan muka air laut. Relief pada pulau ini datar dan homogen karena tidak ada aktivitas dari tenaga endogen yang membentuk topografi pada permukaan pulau.

Pulau-pulau kecil di Kepulauan Maluku Utara dan Karimunjawa memiliki potensi berupa ekowisata bahari yang telah dikembangkan sejak lama, seperti wisata kuliner pesisir, olahraga air seperti snorkeling dan selam, serta wisata alam seperti hutan mangrove. Di sisi lain, di pulau kecil vulkan terdapat ancaman yang berupa bencana geologi seperti gempa bumi, erupsi gunung api, dan tsunami. Sedangkan pada pulau kecil atol seperti Pulau Cemara Besar, ancaman yang mengintai berkaitan dengan minimnya sumberdaya air tawar dan dinamika fisik-morfologi pulau yang sangat dikontrol oleh karakteristik hidro-oseanografi, seperti arus, gelombang, pasang surut, dan tinggi muka air laut. Berikutnya, perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait potensi sumberdaya alam dan kebencanaan yang lebih detail pada pulau-pulau kecil lainnya yang ada di Indonesia. Selain itu, pengembangan potensi sumberdaya alam dan upaya penanggulangan bencana pada pulau-pulau kecil pada masa yang akan datang perlu memperhatikan tipologi pulau kecil tersebut sehingga upaya yang akan dilakukan dapat lebih efektif dan efisien.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan luaran dari program Prioritas Riset Nasional tahun 2020 dengan nomor kontrak 31/E1/III/PRN/2021 dan 467/UN1/DITLIT/DIT-LIT/PT/2021. Penulis

menyampaikan terima kasih kepada Fajar Yulianto (LAPAN), Adhy Kurniawan (UGM), Aji Putra Perdana (BIG), Muhammad Helmi (UNDIP), Raditya Jati (BNPB), dan Daryono (BMKG) atas dukungan dan masukan selama pelaksanaan riset ini. Akhirnya, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada reviewer atas komentar dan masukan yang membangun untuk perbaikan artikel ini.

6. Referensi

- Cahyadi, A., Marfai, M.A., Tivianton, T.A., Wulandari, & Hidayat, W. (2013). *Menyelamatkan Masa Depan Pulau-pulau Kecil Indonesia: Sebuah Pembelajaran dari Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu*. Prosiding Sarasehan Nasional, Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta, 31 Agustus 2013.
- Cardwell, R.K. dan Isacks, B.L. (1978). Geometry of the Subducted Lithosphere Beneath the Banca Sea in Eastern Indonesia from Seismicity and Fault Plane Solutions, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 83(B6), 2825-2838. <https://doi.org/10.1029/JB083iB06p02825>.
- Chan, H.P., Chang, C.P., Lin, T.H., Blackett, M., Kuo-Chen, H., & Lin, A.T.S. (2020). The potential of satellite remote sensing for monitoring the onset of volcanic activity on Taipei's doorstep, *International Journal of Remote Sensing*, 41(4), 1372-1388. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1667549>.
- Coello-Bravo, J.J., Márquez, Á., Herrera, R., Huertas, M.J., & Ancochea, E. (2020). Multiple related flank collapses on volcanic oceanic islands: Evidence from the debris avalanche deposits in the Orotava Valley water galleries (Tenerife, Canary Islands), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 401, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106980>.
- di Friedberg, M.S., Malatesta, S., & dell'Agnese, E. (2020). Hazard, Resilience and Development: The Case of Two Maldivian Islands. *Bollettino della Società Geografica Italiana* 14, 3(2), 11-24. <https://doi.org/10.36253/bsgi-1087>.
- Forbes, D.L., James, T.S., Sutherland, M., & Nichols, S.E. (2013). Physical basis of coastal adaptation on tropical small islands, *Sustainability Science*, 8, 327–344. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0218-4>.
- Espíndola, J.M., Macías, J.L., Tilling, R.I., & Sheridan, M.F. (2000). Volcanic history of El Chichón Volcano (Chiapas, Mexico) during the Holocene, and its impact on human activity. *Bulletin of Volcanology*, 62(2), 90–104. <https://doi.org/10.1007/S004459900064>.
- Faral, A., Lavigne, F., Mutaqin, B.W., Mokadem, F., Achmad, R., Ningrum, R.W., Lahitte, P., Hadmoko, D.S., Mei, E.T.W.M. (2022). A 22,000-years tephrostratigraphy record of unidentified volcanic eruptions from Ternate and Tidore islands (North Maluku, Indonesia). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 107474. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107474>.
- Giardino, A., Nederhoff, K., & Voudoukas, M. (2018). Coastal Hazard Risk Assessment for Small Islands: Assessing the Impact of Climate Change and Disaster Reduction Measures on Ebeye (Marshall Islands). *Regional Environmental Change*, 18, 2237–2248. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1353-3>.

- Hartanto, P. dan Hadi, S.I. (2007). Evaluasi Kualitas dan Ketersediaan Air Pulau KarimunjawaKamujan Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara. *Jurnal Teknologi Academia ISTA*, 12/1: 118-129.
- Hendrasto, M., Surono, Budianto, A., Kristianto, Triastuty, H., Haerani, N., Basuki, A., Suparman, Y., Primulyana, S., Prambada, O., Loeqman, A., Indrastuti, N., Andreas, A.S., Rosadi, U., Adi, S., Iguchi, M., Ohkura, T., Nakada, S., Yoshimoto, M. (2012). Evaluation of volcanic activity at sinabung volcano, after more than 400 years of quiet. *J. Disaster Res.* 7(1), 37–47. <https://doi.org/10.20965/jdr.2012.p0037>.
- Jackson, L.E., Barrie, J.V., Forbes, D.L., Shaw, J., Manson, G.K., Schmidt, M. (2005). Effects of the 26 December 2004 Indian Ocean Tsunami in the Republic of Seychelles. Report No 4539 of the Canada-UNESCO Indian Ocean Tsunami Expedition 19 January-5 February 2005. *Geological Survey of Canada*, Open File 4935, 2005, 73p; 1 CD-ROM, <https://doi.org/10.4095/220622>.
- Kench, P.S., McLean, R.F., Nichol, S.L. (2005). New model of reef-island evolution: Maldives, Indian Ocean. *Geology*, 33(2), 145-148. <https://doi.org/10.1130/G21066.1>.
- Kervyn, M., Kervyn, F., Goossens, R., Rowland, S. ., & Ernst, G.G.J. (2007). Mapping volcanic terrain using high-resolution and 3D satellite remote sensing. *Geological Society, London, Special Publications*, 283, 5-30. <https://doi.org/10.1144/SP283.2>.
- Ketjulan, R., Boer, M., Imran, Z., & Siregar, V.P. (2019). Daya Dukung Lahan Untuk Pemukiman Penduduk dan Implikasinya Terhadap Kualitas Perairan di Pulau-pulau Kecil (Kasus Pulau-pulau Kecil Selat Tiworo Kabupaten Muna Barat). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(3), 569–582. <http://doi.org/10.29244/jitkt.v11i3.25731>.
- Kodoatie, R.J. (2012). *Tata Ruang Air Tanah*. Yogyakarta: Penerbit Andi. 512 hlm.
- Koroy, K., Yulianda, F., & Butet, N.A. (2017). Pengembangan Ekowisata Bahari Berbasis Sumberdaya Pulau-Pulau Kecil di Pulau Sayafi dan Liwo, Kabupaten Halmahera Tengah. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.24319/jtpk.8.1-17>.
- Ladjinga, E., Hartono, G., Arfa, R.A., (2013). *Kajian Tingkat Perkembangan Tanah pada Batuan Induk Vulkanik dan Batuan Induk Sedimen di Pulau Tidore*. Prosiding Seminar Nasional Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Khairun, Ternate, 7 November 2020.
- Marfai, M.A., Mutaqin, B.W., Hadmoko, D.S., Wijayanti, H., Lavigne, F., Faral, A. (2021). The physical characteristics of the small volcanic island of Tidore and Hiri to support disaster management in Maluku. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 851 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/851/1/012008>.
- Mueller, C., Micallef, A., Spatola, D., & Wang, X. (2020). The Tsunami Innundation Hazard of the Maltee Islands (Central Mediterranean Sea): A Submarine Landslide and Earthquake Tsunami Scenario Study. *Pure App. Geophys.*, 177,

- 1617–1638. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02388-w>.
- Murphy, R. (1949). "High" and "Low" Islands in the Eastern Carolines. *Geographical Review*, 39(3), 425-439. <https://doi.org/10.2307/210643>.
- Mutaqin, B.W., Lavigne, F., Landa, A., Ahyadi, H., Hadmoko, D.S., Hananto, N., Handayani, L. (2018), *The Impact of AD 1257 Samalas Eruption to Coral Reef Ecosystems on the East of Lombok, Indonesia*, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 15th Annual Meeting, 3 – 8 June 2018, Honolulu, Hawaii.
- Mutaqin, B.W. (2020). Spatial Analysis and Geomorphic Characteristics of Coral Reefs on the Eastern Part of Lombok, Indonesia. *Geographia Technica*. 15(2), 202-211. http://doi.org/10.21163/GT_2020.152.19.
- Mutaqin, B.W., Handayani, W., Rosaji, F.S.C., Wahyuningtyas, D., Marfai, M.A. (2021a). Geomorphological Analysis for the Identification of Small Volcanic Islands in North Maluku, Indonesia. *Jurnal Geografi*. 13(2), 184-194. <https://doi.org/10.24114/jg.v13i2.21526>.
- Mutaqin, B.W., Marfai, M.A., Hadmoko, D.S., Lavigne, F., Faral, A., Wijayanti, H., Riasasi, W. (2021b). Geomorphology of the Small Island of Tidore and Hiri (North Maluku, Indonesia). *E3S Web Conf.*, 325, 03012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132503012>.
- Napieralski, J., Barr, I., Kamp, U., Kervyn, M. (2013). Remote sensing and GIScience in geomorphological mapping. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Bishop, M.P. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 3, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology, 187–227. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00050-6>.
- Narulita, I., Rahayu, R., Kusratmoko, E., Supriatna, & Djuwansah, M.R.. (2019). Ancaman kekeringan Meteorologis di Pulau Kecil Tropis akibat Pengaruh El-Nino dan Indian Ocean Dipole (IOD) Positif, studi kasus: Pulau Bintan. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 10(3), 127–138. <http://doi.org/10.34126/jlbg.v10i3.252>.
- Ramadhan, M., Amri, S.N., & Priyambodo, D.G. (2019). Survey Identifikasi Pulau-pulau Tenggelam di Teluk Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 1–6. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i1.4>.
- Republik Indonesia. (2007). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil.
- Riasasi, W., Marfai, M.A., Mutaqin, B.W., Hadmoko, D.S., Lavigne, F., Faral, A., Wijayanti, H. (2021). Assessment of Social Vulnerability to Kiematubu Volcano in Tidore Island, North Maluku. *E3S Web Conf.*, 325, 03011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132503011>.
- Rif'an, A.A. (2018). Daya Tarik Wisata Pantai Wediombo Sebagai Alternatif Wisata Bahari di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geografi*, 10(1), 63–73. <https://doi.org/10.24114/jg.v10i1.7955>.
- Santamarta, J.C., Lario-Bascones, R.J., Rodríguez-Martín, J., Hernández-Gutiérrez, L. E., & Poncela, R. (2014). Introduction to Hydrology of Volcanic Islands, *IERI Procedia*, 9, 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.053.6>.

- Sardjono. (1999). Gravity Field and Structure of the Crust of the Banggai Islands Region, Eastern Indonesia Implications for Tectonics and Hydrocarbon Prospects, *Jurnal geologi dan Sumberdaya Mineral*, 9, 16-29. <http://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v19i3.204>.
- Sidarto, Santosa S., Hermanto B. (1993). *Peta geologi lembar Karimunjawa (lembar 1410-2, 3)*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Stokes, M. dan Gomes, A. (2020). Alluvial fans on volcanic islands: A morphometric perspective (São Vicente, Cape Verde), *Geomorphology*, 368, 107356. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107356>.
- Tahir, A., Boer, M., Susilo, S.B., & Jaya, I. (2009). Indeks Kerentanan Pulau-pulau Kecil: Kasus Pulau Barrang Lompo-Makasar. *Jurnal Ilmu Kelautan*, 14(4), 183–188. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.14.4.183-188>.
- Thouret J.-C. (1999). Volcanic geomorphology—an overview, *Earth-Science Reviews*, 47(1–2), 95-131, [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00014-8).
- Umar, M.A. (2018). Potensi Ekowisata Bahari Pada Pulau-Pulau Kecil di Halmahera Selatan. *Jurnal Geografi*, 10(2), 117–128. <https://doi.org/10.24114/jg.v10i2.10323>.
- UNEP-WCMC, WorldFish Centre, WRI, TNC (2021). *Global distribution of warm-water coral reefs, compiled from multiple sources including the Millennium Coral Reef Mapping Project*. Version 4.1. Includes contributions from IMaRS-USF and IRD (2005), IMaRS-USF (2005) and Spalding et al. (2001). Cambridge (UK): UN Environment World Conservation Monitoring Centre. Data DOI: <https://doi.org/10.34892/t2wk-5t34>.
- Van den Broek, J.M., Magni, V., Gaina, C., Buiter, S.J.H. (2019). The Formation of Continental Fragments in Subduction Settings: The Importance of Structural Inheritance and Subduction System Dynamics. *JGR Solid Earth*, 125(1), <https://doi.org/10.1029/2019JB018370>.
- Velmurugan, A. (2008). Chapter 1 - The Nature and Characters of Tropical Islands, Editor(s): C. Sivaperuman, A. Velmurugan, A.K. Singh, I. Jaisankar, *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands*, Academic Press, 3-30, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00001-6>.
- Wilkinson, E., Lovell, E., Carby, B., Barclay, J., & Robertson, R.E. (2016). The Dilemmas of Risk Sensitive Development on a Small Volcanic Island. *Resources*, 5(2), 21. <https://doi.org/10.3390/resources502021>.
- Woodroffe, C.D. dan McLean, R.F. (1994). Reef islands of the Cocos (Keeling) Islands. *Atoll Research Bulletin*. 403, 1–36. <https://doi.org/10.5479/si.00775630.403.1>.
- Yulianda, F., Fahrudin, A., Hutabarat, A.A., Harteti, S., & Kusharjani, K.H. (2010). *Pengelolaan pesisir dan laut secara terpadu*. Bogor: Pusdiklat Kehutanan dan SECEM-Korea International Cooperation Agency.