

KONDISI GEOMORFOLOGI PULAU SATONDA NUSA TENGGARA BARAT

THE GEOMORPHOLOGY OF SATONDA ISLAND IN THE WEST NUSA TENGGARA

Triyono¹, Ahmad Arif², Ifan Ridlo Suhelmi¹, & Agus Iwan Santosa³

¹Pusat Riset Kelautan, KKP

²Litbang KOMPAS

³Pusat Hidro Oseanografi TNI AL

e-mail : triyonodkp2@gmail.com

Diterima tanggal: 27 September 2023 ; diterima setelah perbaikan: 12 Oktober 2023 ; Disetujui tanggal: 10 November 2023

ABSTRAK

Pulau Satonda merupakan pulau gunungapi kaldera yang terletak di Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Pulau Sumbawa dan pulau-pulau sekitarnya merupakan pulau oseanik yang terbentuk dari proses subduksi pada busur gunungapi. Sebagai wilayah dengan iklim tropis, sebagian besar bentuklahan di Indonesia dipengaruhi oleh pola curah hujan yang menyebabkan terjadinya bentuklahan denudasional. Namun demikian bentukan ini jarang dijumpai di Pulau Nusa Tenggara karena curah hujan yang rendah, seperti di Pulau Satonda. Penelitian ini bertujuan mendeskripsi kondisi geomorfologi Pulau Satonda sebagai informasi yang dapat digunakan dalam rencana pengelolaan sumberdaya. Identifikasi bentuklahan dapat dilakukan dengan teknik penginderaan jauh, *Data Elevation Model* (DEM) yang diekstrak dari citra satelit Google Earth untuk memperoleh data elevasi yang lebih rapat. Pulau Satonda didominasi oleh lereng dengan kemiringan steep ($16^{\circ} - 35^{\circ}$) dibagian barat laut dan *moderately steep* ($8^{\circ} - 16^{\circ}$) dibagian Tenggara. Secara geomorfologi, terdapat 4 satuan bentuklahan gunungapi (*volcanic*) dan lima satuan bentuk lahan marin. Kondisi iklim yang memiliki curah hujan rendah menyebabkan tidak terbentuknya bentuklahan fluvial; sedangkan proses erosi terjadi secara mikro pada bagian lereng yang mengalami pelapukan dan memiliki lapisan tanah.

Kata kunci: SIG, DEM, pulau gunungapi, Satonda, pemetaan bentuklahan.

ABSTRACT

The Satonda island is a volcanic island with the caldera lying on the Sumbawa Island (West Nusa Tenggara). Sumbawa Island and its surrounding islands are the oceanic islands created by a subduction process in the shape of a volcanic arc. As a tropical climate region, the major landform of Indonesia is affected by the rainfall pattern that generates the denudational landform. However, this form is not found on the other Nusa Tenggara Islands with low precipitation, such as Satonda Island. This study aims to describe the geomorphology of Satonda Island as pivotal information for resource utilization management planning. The identification of landforms can be analyzed by remote sensing techniques. The elevation model data (DEM) extracted from the Satellite images on Google Earth is utilized to obtain accurate elevation data. The Satonda Island is contoured by the steep hills at an angle of $16^{\circ} - 35^{\circ}$ northwest and the moderately steep hills at $8^{\circ} - 16^{\circ}$ southeast. Geomorphologically, there are four volcanic landforms and five oceanic landforms. The climate pattern indicated by low precipitation generally induces fewer fluvial landforms, while erosion processes occur on microscales at the hills and trenches, which experience weathering and have soil layers.

Keywords: GIS, DEM, volcanic island, Satonda, landform mapping.

PENDAHULUAN

Pulau-pulau kecil memiliki keunikan sendiri-sendiri tergantung pada proses pembentukannya atau genesanya (Dunn, 1987). Vulkanisme di Indonesia berhubungan dengan lokasi zona subduksi lempeng tektonik utama dan asal-usulnya serta sifatnya serupa dengan yang ada di jalur gunungapi Circum-Pacific. Lempeng Indo-Australia (Samudera Hindia) berperan penting di Indonesia bagian selatan (Sumatera, Jawa, pulau-pulau Nusa Tenggara) sementara lempeng Samudera Pasifik, termasuk lempeng Filipia memainkan peran yang sama di bagian timur laut Indonesia (Verstappen, 1994).

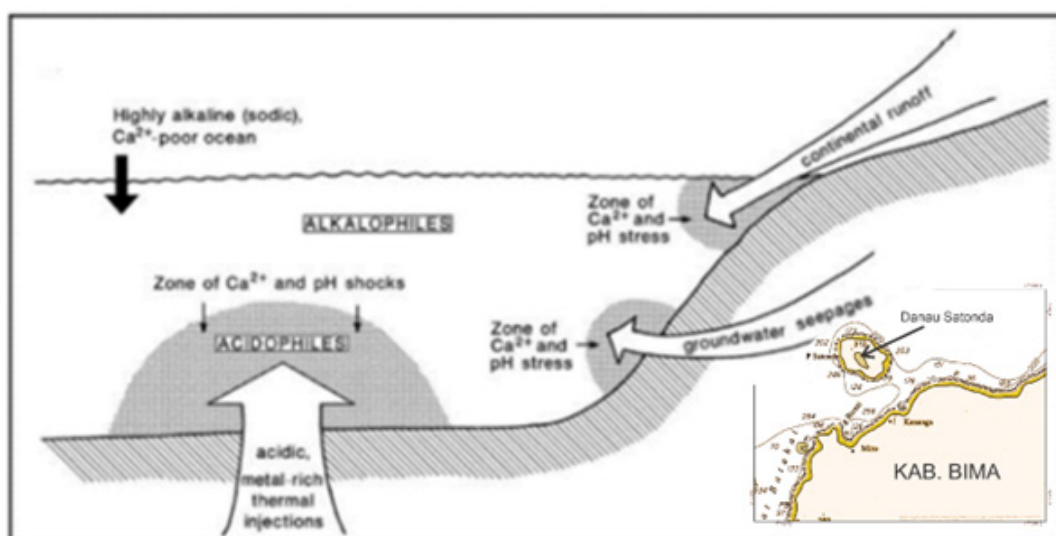
Pulau Sumbawa adalah pulau oseanik yang muncul dari kerak oseanik terisolasi lempeng benua akibat adanya subduksi. Proses tektonik ini selanjutnya membentuk pulau-pulau oseanik Nusa Tenggara dengan dasar busur vulkanik dan busur non vulkanik yang lebih muda dari mid-Miosen (15 juta tahun lalu) (Yudhicara & Robiana, 2016, dalam Verstappen, 1994). Bentuklahan di Sumbawa sebagian besar bergunung berumur Miosen hingga Holosen dengan sedikit lahan datar dan pulau kecil tak berpenghuni di bagian barat (Mutaqin *et al.*, 2021).

Banyak pulau kecil gunung api yang tersebar di Indonesia, tetapi hanya sedikit yang memiliki kaldera dengan air bersalinitas tinggi seperti Satonda (Gambar 1). Danau air asin terbentuk akibat adanya terbenamnya kawah oleh air laut akibat gelombang tinggi (Gambar 1) (Becking *et al.*, 2011). Zona utama tekanan kalsium dan pH di lautan bersifat sangat basa dimana ketika

terjadi kontak kehidupan alkalofilik primordial dengan perairan kaya Ca dari rembesan dan limpasan benua serta injeksi hidrotermal asam yang kaya logam dianggap penting bagi evolusi sistem kehidupan paling awal (Kazmierczak *et al.*, 2013).

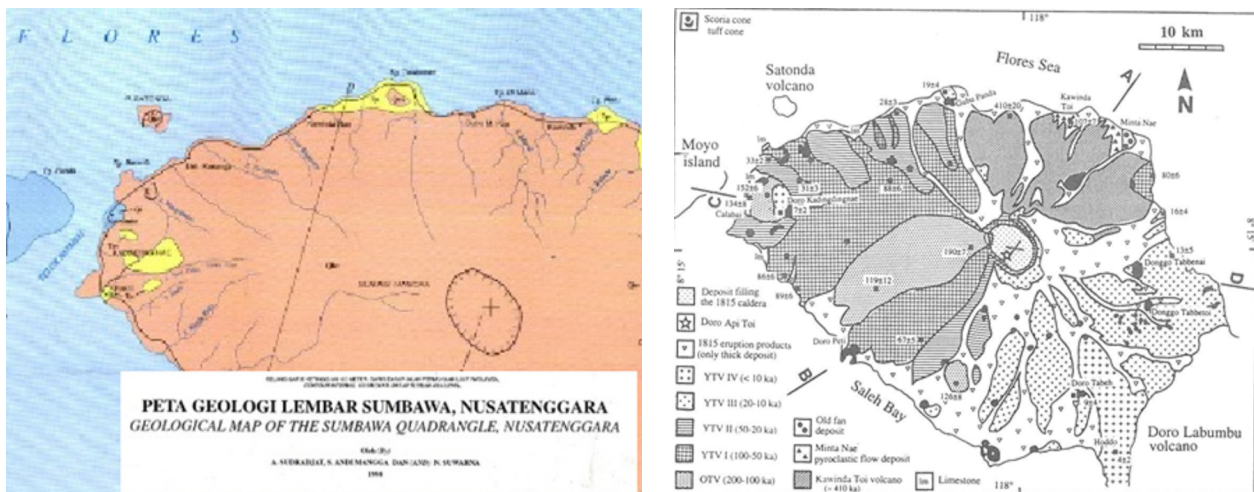
Dari sisi geomorfologi, kedekatan dengan Gunung Tambora sering membayangi eksistensi Gunung Satonda dalam konstelasi cincin api (Brams *et al.*, 2006). Bentuklahan di Sumbawa sebagian besar bergunung berumur Miosen hingga Holosen dengan sedikit lahan datar dan pulau kecil tak berpenghuni di bagian barat (Mutaqin *et al.*, 2021). Dalam Peta Geologi lembar Sumbawa, Nusa Tenggara Barat skala 1: 250.000 yang diterbitkan oleh Badan Geologi tahun 1997, batuan gunungapi Satonda sama dengan Gunungapi Tambora, yaitu satuan lava-breksi dengan material lava, breksi, lahar, tuf dan abu gunungapi bersusunan andesit. Batuan terutama berkomposisi kalsium alkali, dan terdiri dari andesit hornblende dan andesit augit-hornblende berupa batu apung dan andesit batuapung, serta andesit augit berbiotit. Batu apung (pumice) Nangamire pada bagian paling atas produk erupsi *Young Tambora Volcano* (YTV) IV merupakan deposit jatuhnya subplinian yang terdiri dari lapili berbutir halus atau abu berbutir kasar pada sayap bagian barat gunung Tambora, seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3 (Matsumoto & Takada, 2000).

Endapan piroklastik dari letusan Tambora tahun 1815 memperlihatkan adanya dua fase eruptif utama, yang pertama menghasilkan 4 endapan jatuhnya tefra, sementara yang kedua membentuk aliran dan gelombang piroklastik yang besar (Brams, 2006).

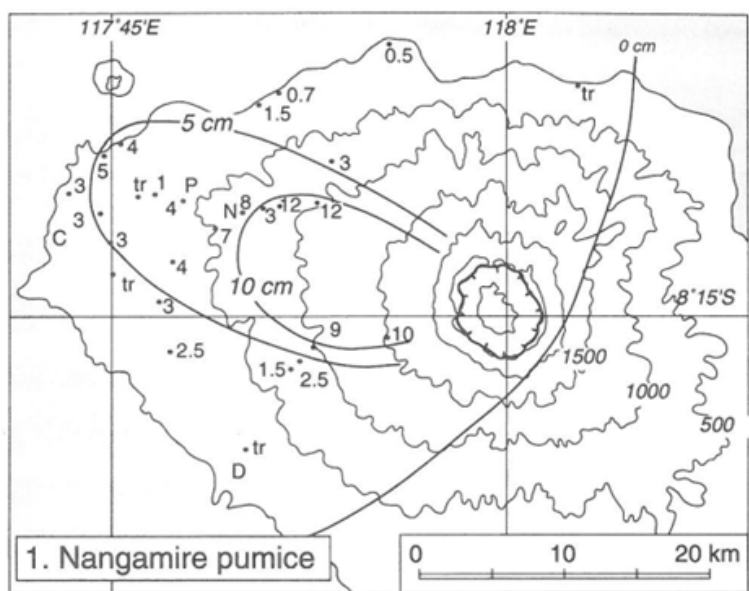


Gambar 1. Proses alkalinisasi danau kawah. (Kazmierczak *et al.*, 2013)

Figure 1. Alkalinization process in caldera. (Kazmierczak *et al.*, 2013)



Gambar 2. Peta Geologi Lembar Sumbawa dan Peta Geologi. Takada A (2000)
 Figure 2. Geology map of Sumbawa sheet and Geology map. Takada A (2000)



Gambar 3. Peta isopach batu apung Nangamire. (Takada A, 2000)
 Figure 3. Isopach map of pumice. (Takada A, 2000)

Selain itu, Bram (2006) menguraikan bahwa endapan jatuhnya awal yang paling kasar dan paling ekstensif dari letusan Tambora 1815 adalah lapisan pumice jatuhnya Plinian dengan ketebalan lebih dari 20 cm menutupi sayap bagian barat Tambora. Di Pulau Moyo dan Pulau Satonda ketebalan lebih dari 10 cm.

Dua faktor yang berperan dalam perkembangan lereng gunung api strato di Indonesia, yaitu abu dan material klastik lainnya, di sebagian besar di Indonesia tingginya nilai curah hujan dan hujan lebat tropis. Akibatnya lereng fluvio-vulkanik yang terbentuk aliran lahar meluas (Sutikno, 2013). Iklim tropis lembab Indonesia mempunyai efek penting dalam perkembangan lereng vulkanik. Lereng atas gunungapi strato biasanya

didominasi oleh gaya gravitasi terhadap debris vulkanik dan sudut lereng sehingga bisa diperkirakan gaya akan maksimal pada sudut kritis (Verstappen, 1994). Di pulau-pulau Nusa Tenggara yang lebih kering lereng fluvio-vulkanik kurang berkembang, meskipun terbentuk pada bagian lereng yang penting (Sutikno, 2013). Iklim di Nusa Tenggara Barat sangat dipengaruhi oleh monsoon dan *trade winds* yang menyebabkan terjadinya perbedaan musim di sepanjang Kepulauan Indonesia. *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) berkorelasi dengan musim hujan kering (*dry season rainfall*) (Kirono *et al.*, 2016).

Pulau Satonda merupakan pulau vulkanik dengan kaldera di kawahnya. Pulau vulkanik memiliki

karakteristik pola aliran sungai radial sentrifugal (Mutaqin *et al.*, 2021). Menurut Verstappen (1994), puncak kaldera merupakan bentukan umum yang terbentuk selama masa erupsi Plinian di masa lampau. Kaldera yang dihasilkan oleh keluarnya lava basaltic yang sangat besar jumlahnya, tidak terjadi di Indonesia. Ciri utama kaldera di Indonesia umumnya kecil dengan bentuk lingkaran dan sub tipe kawah krater, sedang yang lebih besar tidak beraturan bentuk luarnya dan mempunyai sub tipe depresi; batu apung yang dihamburkan sangat besar selama pembentukannya. Kaldera terkecil (tipe kawah) ukurannya mempunyai penampang 2 km dan umumnya terjadi pada bagian puncak (Sutikno, 2013).

Bentuk lahan dapat diidentifikasi dengan menggunakan citra satelit, data DEM, dan pemetaan berbasis GIS. Data DEM digunakan juga untuk ekstraksi lereng dan pola aliran. Informasi morfologi menggunakan relief dan analisis lereng dengan dua data dalam identifikasi relief, yaitu lereng dan ketinggian.

BAHAN DAN METODE

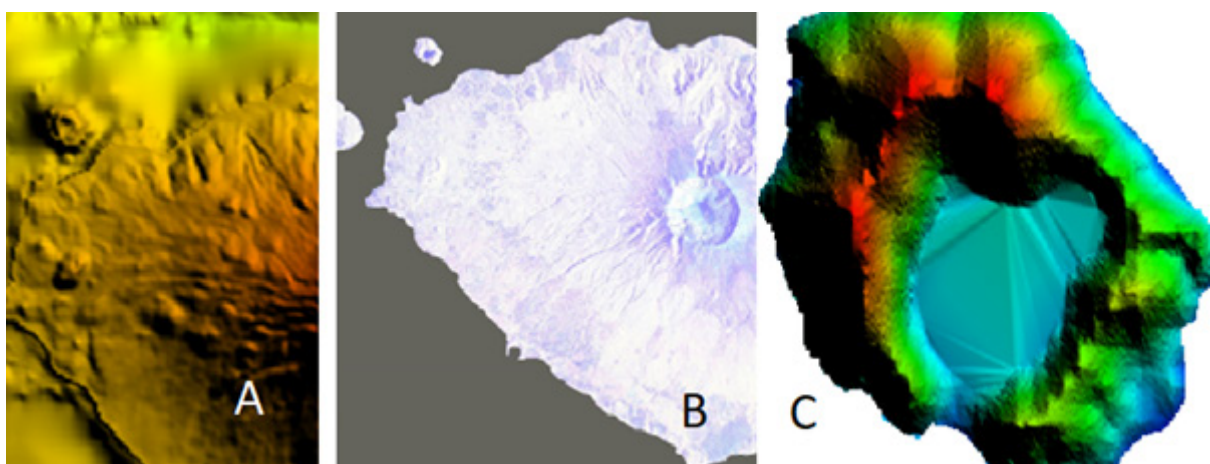
Dalam pemetaan geomorfologi detil (1:10.000 – 1:50.000), unsur utama yang dipetakan adalah bentuk relief dan bagian-bagiannya, dengan perhatian utama pada ujung-ujung bentukan permukaan dan takik lereng atau *break of slope* yang melingkupinya (Finkl, 2004). Pemilihan citra DEM yang akan digunakan tergantung pada skala geomorfologi wilayah. Sebagai contoh untuk analisa data dengan resolusi 90 m, lereng bukit harus memiliki resolusi 1-30 m, dan yang bisa diidentifikasi adalah lereng bukit secara individu dan igir; sedangkan DEM yang lebih kasar dapat digunakan untuk mengeksplorasi hipsometri sabuk pegunungan

dan hubungannya dengan iklim, erosi dan tektonik pada basin atau skala regional (Purinton & Bookhagen, 2017). Data elevasi digital dapat digunakan untuk identifikasi permukaan lahan secara lebih baik karena menggunakan model kuantitatif berbasis pada atribut morfometrik untuk klasifikasi relief, melalui pemodelan kualitatif dan semikuantitatif (Garcia & Grohmann, 2019). Penelitian ini menggunakan data DEM yang diekstrak dari Google Earth (<https://earth.google.com>).

Keterbatasan akurasi elevasi pada Google Earth menyebabkan citra ini terbatas dalam penggunaannya. Secara umum data elevasi GE hanya bisa digunakan untuk penelitian dan kajian awal dengan biaya rendah. Sejak 2005, Google Earth menggunakan data SRTM sebagai baseline data elevasi untuk menyediakan data elevasi resolusi tinggi dengan akurasi elevasinya sekitar 1,85 m RMSE, namun masih memenuhi persyaratan tata ruang untuk area yang luas, perencanaan kota, dan peta klasifikasi (El-Ashmawy, 2016). Gambar 4 adalah visualisasi citra DEM dari DEMNAS, Satelit Sentinel-1, dan ekstraksi Google Earth.

Peta geomorfologi disusun dalam skala 1:10.000 berbasis sistem lahan yang disusun secara manual menggunakan GIS berdasarkan kesamaan morfometrik, karakteristik geomorfologi dan karakteristik geologi (Garcia & Grohmann, 2019). Beberapa kenampakan yang termasuk dalam skala ini misalnya punggung memanjang (*elongated ridge*) adalah bentuklahan memanjang, gawir aliran yang intens, lereng curam dan amplitudo relief yang tinggi.

Atribut medan yang dapat diturunkan dari DEM antara lain: hypsometry, lereng, dataran, dan profil

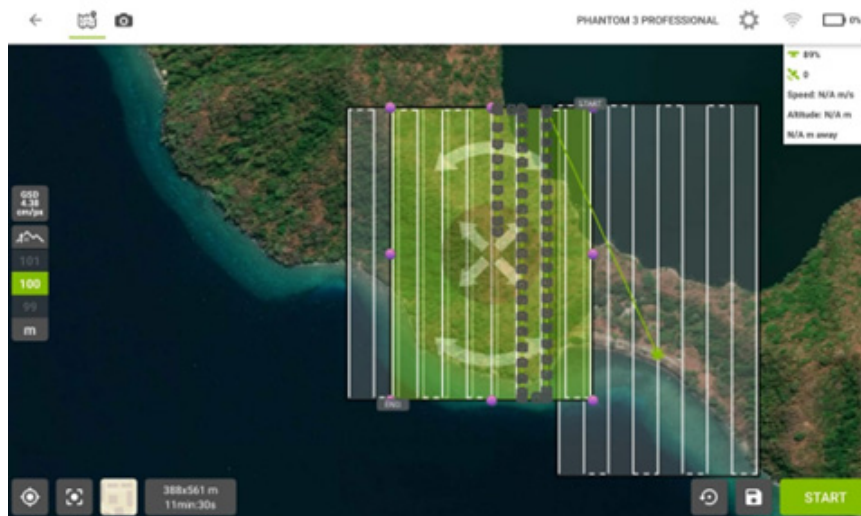


Gambar 4. Tiga jenis DEM yaitu (A) DEMNAS, (B) Sentinel-1, dan (C) Ekstraksi Google Earth.
 Figure 4. Three types of DEM consist of (A) DEMNAS, (B) Sentinel-1, and (C) extraction from Google Earth.

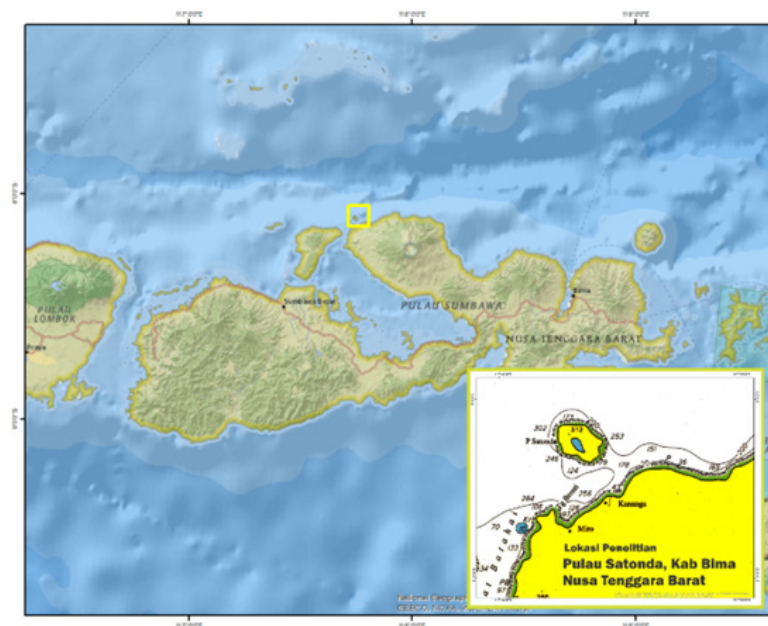
kurva; sedangkan jaring-jaring drainase dan DAS dihitung menggunakan ArcGIS dengan ambang 100 sel. Pemetaan dilakukan secara manual dengan ArcGIS, mendelineasi dan meliputi bagian-bagian dengan kesamaan karakteristik morfometri yang sesuai dengan definisi satuan lahan dan unsur lahan (Garcia & Grohmann, 2019).

Dalam penelitian ini, input data spasial berupa citra penginderaan jauh, *Digital Elevation Model* (DEM), dan peta geologi. Integrasi antara citra satelit dengan data DEM dapat digunakan untuk mengidentifikasi kenampakan medan dan bentuklahan melalui proses

digitasi langsung dengan Sistem Informasi Geografis. Ekstraksi dari data DEM bahkan dapat digunakan untuk mengenali pola aliran yang mengindikasikan bentuklahannya. Hasil analisis data-data spasial tersebut kemudian dibuktikan di lapangan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran. Pengamatan secara vertical dilakukan dengan pemotretan foto udara dengan drone DJI Phantom 3 dengan jalur terbang (Gambar 5). Data batimetri sebagai alat untuk melakukan analisis bentuk permukaan dasar laut diperoleh dengan cara pemeruman menggunakan multibeam ecosounder (MBES) (Gambar 6).



Gambar 5. Jalur terbang pemotretan udara.
Figure 5. Flight plan of aerial mapping.



Gambar 6. Lokasi penelitian.
Figure 6. Location of study area.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lereng

Morfologi dicerminkan oleh kondisi morfografi dan morfometri yang digambarkan dalam bentuk kelerengan. Lereng dalam analisis morfometri degenerate dari DEM menggunakan analisis spasial GIS dan diklasifikasikan menurut klasifikasi lereng menurut Van Zuidam (1985). Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa Pulau Satonda didominasi lereng dengan $35^{\circ} - 55^{\circ}$ yaitu sebesar 35,18%, sedangkan $8-16^{\circ}$ dan diatas 55° masing-masing 3,70% dan merupakan kelas lereng dengan luasan paling sedikit Gambar 7 dan Tabel 1.

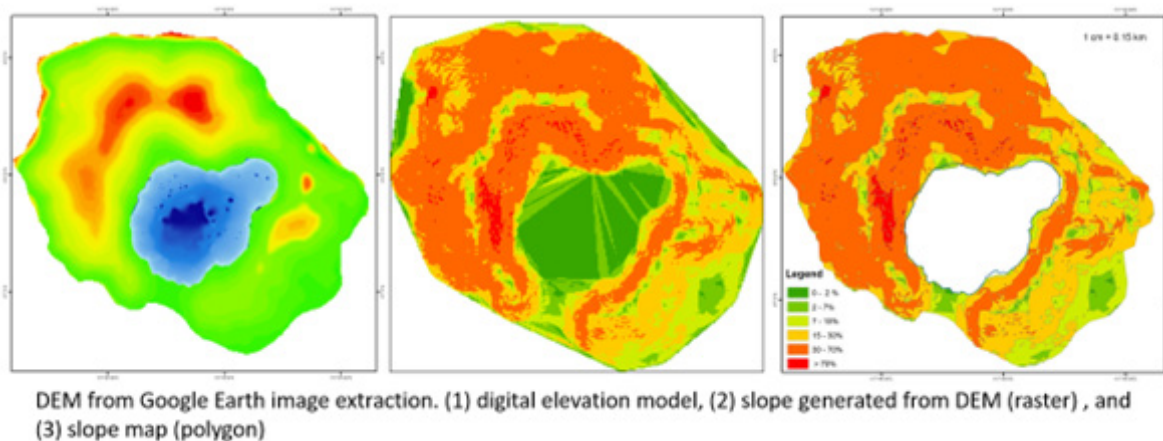
Bentuklahan

Proses-proses geomorfologi yang berlangsung mengukir permukaan bumi dalam karakteristik-karakteristik lahan yang disebut bentuklahan (*landform*). Dengan demikian klasifikasi bentuklahan dapat dilakukan berdasarkan asal prosesnya, Sebagaimana Verstappen (1983) maka bentuklahan di daerah penelitian berasal dari dua proses utama

yaitu proses vulkanik dan proses marin. Terdapat 10 jenis bentuklahan dengan 5 bentuklahan asal vulkanis yaitu Kaldera (v1), Puncak Dinding Kaldera (v2), Lereng Gunungapi (v3), Dinding Kaldera (V4), dan Lerengkaki Gunungapi (v6), dan 5 bentuklahan asal marin yaitu Pantai Berpasir Putih (M1), Pantai Berbatu Terjal (M2), Pantai Saku (M3), Pantai Berbatu Vulkanik (M4), Pantai Karang dengan substrat abu-abu dan hitam (M5). Adapun masing-masing bentuklahan berada pada kelas lereng yang berbeda-beda (Tabel 2).

VI: Kaldera

Kaldera sebagai bentukan vulkanik yang biasanya berbentuk danau, akibat runtuhnya dinding kawah oleh proses erupsi maupun longsor. Kaldera Satonda membentuk danau Satonda yang disebut Moti To'i artinya danau kecil. Danau Satonda mempunyai dasar danau yang datar dengan kedalaman kurang dari 70 meter, dengan morfologi seperti mangkok. Diameter terbesar 1.232 m dan terpendek 1.187 m. Perbandingan antara kedalaman dasar danau dengan panjang lereng dari dasar hingga permukaan ditemukan sudut kemiringan lereng. Sudut kemiringan lereng dari

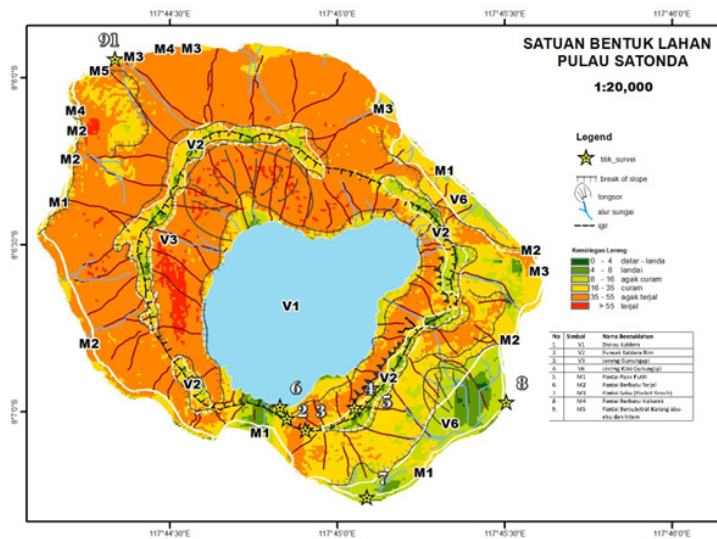


Gambar 7. Peta lereng yang degenerate dari DEM.
Figure 7. Slope map generated from DEM data.

Tabel 1. Luasan Lereng Gunung Satonda.
Table 2. Slope area of Satonda Volcano.

Kelas	Kemiringan	Kategori	Luas Lereng (km ²)	Persen
1	0° - 4°	Datar hingga landai	5,80	21,44
2	4° - 8°	miring	5,99	22,15
3	8° - 16°	Agak Curam	1,00	3,70
4	16° - 35°	Curam	3,74	13,84
5	35° - 55°	Sangat Suram/ Terjal	9,52	35,18
6	> 55°	Luar biasa curam/ Sangat Terjal	1,00	3,70
			27,06	100,00

Sumber: Hasil analisis

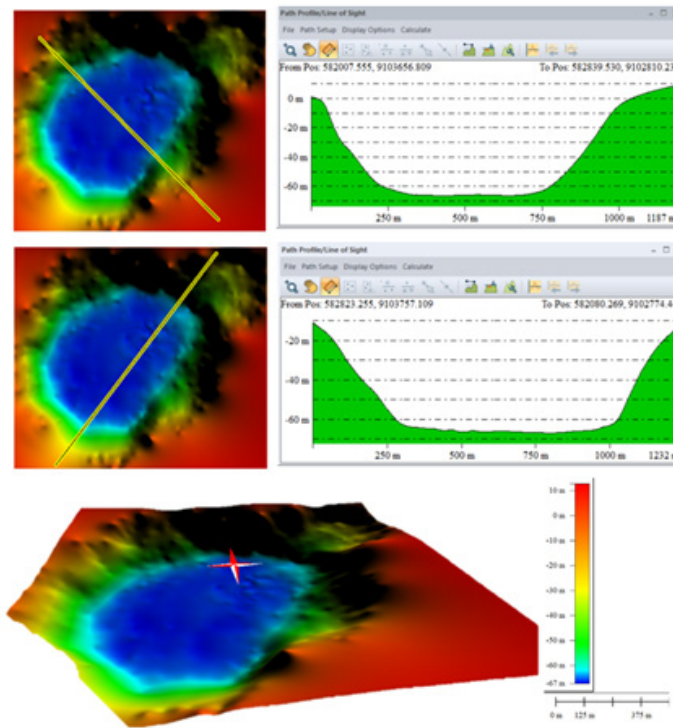


Gambar 8. Bentuklahan Pulau Satonda.
 Figure 8. Landforms of Satonda Island.

Tabel 3. Satuan bentuklahan Pulau Satonda
 Table 3. Landform units in Satonda island

No.	Bentuklahan	Simbol	Jumlah Satuan Bentuklahan	Luas (ha)
1	Pantai berpasir putih	M1.1	1	9,40
		M1.2	2	
		M1.3	3	
		M1.4	3	
2	Pantai berbatuan terjal	M2.4	3	8,54
		M2.5	1	
3	Pantai Saku	M3.1	1	1,69
		M4.4	3	
4	Pantai berbatuan vulkanik	M4.1	1	0,89
		M4.4	1	
5	Pantai karang dengan substrat abu-abu dan hitam	M5.1	1	0,24
		V1.0	1	
6	Kaldera	V2.2	1	81,29
		V2.3	5	
7	Puncak dinding kaldera	V2.4	3	35,32
		V2	1	
8	Lereng gunungapi	V3.2	1	213,22
		V3.3	1	
		V3.4	1	
		V3.5	1	
9	Dinding kaldera	V3.6	1	103,80
		V5.2	1	
		V5.3	1	
		V5.4	1	
10	Lerengkaki gunungapi	V5.5	1	28,85
		V5.6	1	
		V6.1	1	
		V6.3	1	
		V6.4	2	
		V6.5	1	

Sumber: Hasil analisis



Gambar 9. Morfologi danau Satonda.
 Figure 9. Morphology of Satonda Lake.

kedua penampang melintang Gambar 10 bervariasi yaitu: $16,7^\circ$, $16,7^\circ$, 10° , dan $12,4^\circ$.

V2: Puncak Dinding Kaldera

Puncak kaldera dengan morfologi datar dengan lebar antara 10 – 15 m terdapat di bagian Tenggara Pulau Satonda. Kemiringan lereng 0° – 4° dengan material lava kecoklatan yang pada bagian terlapuk (*weathered*) ditumbuhi rumput-rumput jarum dan Semak, memanjang seperti lapangan. Puncak dibagian barat berbeda dengan di bagian Tenggara. Pada bagian barat puncak dinding kaldera memiliki kemiringan lereng 8° – 16° dan tertutup oleh vegetasi hutan. Sedangkan igir (*ridge*) bagian Selatan puncaknya makin menurun

kearah barat sehingga dibangun tangga beton sebagai jalur menuju puncak bukit kaldera. Tidak semua igir puncak kaldera bertanah tipis. Igir yang berada pada takik lereng (*break of slope*) memiliki tanah yang cukup tebal (Gambar 10) sehingga menjadi habitat burung maleo untuk bertelur.

V3: Lereng Gunungapi

Lereng Gunungapi merupakan bentuklahan yang paling dominan dengan kemiringan lereng sangat terjal, yaitu 35° – 55° . Bentuk lahan ini tertutup oleh vegetasi asli dengan lantai hutan terhampar bongkah-bongkah batu lava di beberapa tempat (*lava block*). Tidak ada Upaya penggunaan lahan sehingga bentuklahan ini masih



Gambar 10. Foto ketebalan tanah sekitar 30 cm.
 Figure 10. Soil thickness about 30 cm.



Gambar 11. Danau satonda dan dinding kaldera.

Figure 11. Satonda Lake and Rim.

menampakkkan karakter aslinya.

Volcanic slope di bagian Tenggara memiliki kemiringan lereng 15 – 35°, menampakkkan material batuan yang belum terlapuk dengan materi piroklastik berupa lapilli hitam keabuan dimana ditemukan juga pumice kuning kecoklatan. Material ini memiliki kesamaan dengan material piroklastik Gunung Tambora (Mutaqin, 2021) sehingga patut diduga material ini adalah *pyroclastic fall* Gunung Tambora.

V4: Dinding Kaldera

Dinding kaldera merupakan sisa runtuh lubang kawah yang menyisakan lereng dengan kemiringan bervariasi antara 35 – 55° dan diatas >55°. Di bagian Tenggara bahkan terbentuk dinding tegak 90° (Gambar 11).

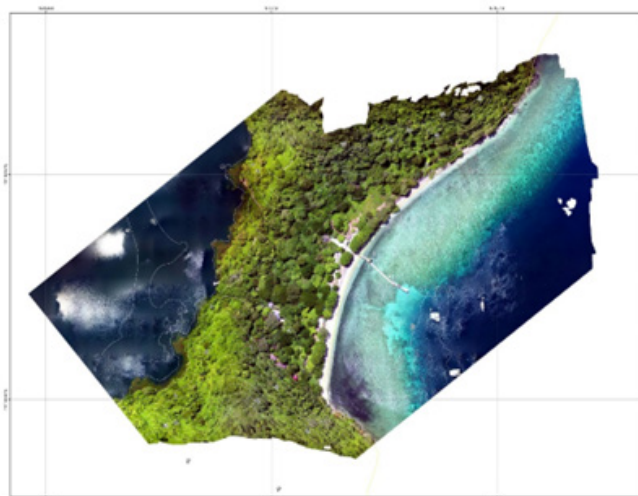
V6: Lerengkaki Gunungapi

Satuan bentuklahan ini merupakan lereng gunung api dengan kemiringan 4° – 8° dan berbatasan langsung

dengan Pantai. Lereng kaki menjadi tempat terjadinya penumpukan bongkah-bongkah batuan basaltic-andesit yang berasal dari lereng bagian atas. Satuan ini hanya ada di bagian Tenggara dan bagian timur Pulau Satonda, dengan permukaan tanah yang ditumbuhi vegetasi lebat. Pada beberapa bagian menjadi habitat kelelawar besar (*Chiroptera*). Beberapa satwa lain yang ada di Pulau Satonda yaitu rusa, monyet, ular, elang, biawak, dan burung maleo hidup pada satuan bentuk lahan ini. Pada takik lereng (*break of slope*) antara lereng gunungapi dengan lereng kaki dibangun jalan setapak permanen sebagai jalur wisata TWA Satonda.

M1: Pantai berpasir putih

Jenis Pantai ini berada di bagian Selatan Pulau Satonda dan menjadi pintu masuk kawasan TWA Satonda dengan lereng landau (0° – 4°). Pantai ini tersusun dari material substrat terumbu karang yang terendapkan melalui proses marin. Setidaknya terdapat 3 lokasi Pantai berpasir putih dari substrat karang di Pulau



Gambar 12. Morfologi pantai pasir putih Pulau Satonda.

Figure 12. Morphology of Satonda white sand beach.



Gambar 13. Pantai bertebing batuan vulkanik.

Figure 13. Volcanic rocky beach.

Satonda (Gambar 12).

M2: Pantai berlereng terjal

Satuan bentuklahan *steep rocky coast* lebih mirip sebagai *cliff* dalam ukuran kecil, dengan material berupa bongkah-bongkah lava. Pada beberapa batuan yang diamati ditemukan piroksen pada batuan lava yang berwarna hitam. Selain memiliki dinding tegak, perairan didepan pantai ini terhampar bongkah-bongkah batuan lava yang menjadi penghalang bagi perahu untuk menepi (Gambar 13).

M3: Pantai Saku

Pocket beach adalah Pantai dengan sedimen pasir yang terjebak diantara dua daratan, dalam hal ini batuan vulkanik Satonda dimana umumnya berbentuk lengkung (*comcave*). Terdapat 4 *pocket beach* di Pulau Satonda dengan material pasir putih dari substrat karang. *Pocket beach* ini sulit dijangkau karena terdapat

batu-batu lava yang bertebaran didasar perairan Pantai. Pantai jenis ini berbatasan langsung dengan lereng kaki gunungapi dan lereng gunungapi.

M4: Pantai berbatu

Bentuklahan *rocky coast* berada dibagian Barat dan Tenggara Pulau Satonda, dan berbatasan langsung dengan perairan dalam dengan tumpukan bongkah batuan lava. Pada Pantai yang memiliki kemiringan 35 o – 55° ini ditumbuhi vegetasi perintis.

M5: Pantai karang dengan substrat abu-abu dan hitam Pantai ini unik karena materialnya berupa substrat karang namun berwarna putih dan hitam, sedangkan pada bagian belakang (pada *beach ridge*) berupa hancuran karang yang terhampar secara parallel dengan garis Pantai. Kemiringan lereng 0 – 4° pada bagian Tengah, dan 4° – 8° pada ujung-ujung Pantai yang sempit.



Gambar 14 Pantai datar dengan substrat karang.

Figure 14. Flat beach with coral substrate.



Gambar 15. Foto Igir perbukitan dengan tutupan tumpuk jarum.
 Figure 15. Mountain ridge covered by needle leaves grass.

Pada puncak bukit bagian tenggara di Pulau Satonda, terdapat igir (*ridge*) yang hanya ditumbuhi rumput sehingga menampilkan bentukan dataran berumput, sebagaimana savanna. Pada bagian ini tanah sangat tipis bahkan cenderung tidak terbentuk. Batuan lava tertutup oleh material gunung api berupa piroklastik dan lapilli.

Pulau Satonda merupakan pulau gunungapi dengan material utama lava flow, hanya pada bagian tertentu yang memiliki ketebalan tanah lebih dari 30 cm yang diperkirakan berasal dari lapukan piroklastik dan lapilli. Pada daerah dengan lapukan tanah tebal ini tumbuh subur vegetasi hutan. Hal ini sangat menyulitkan untuk dilakukan pengukuran morfometri bentuklahan.

Kerapatan hutan dan keragaman spesies vegetasi menjadi habitat yang nyaman bagi berbagai hewan langka. Elang Flores merupakan salah satu spesies endemik Nusa Tenggara yang meliputi Pulau Flores, Sumbawa dan Lombok, serta Satonda, Rinca, Komodo, dan Alor (Wiratno & Iskandar, 2019). Lebih lengkap Mellawati *et al.*, (2018) menyebutkan berbagai jenis satwa di Pulau Satonda, yaitu: Reptilia: Penyu sisik (*Eretmochelys imbricata*), Mamalia: kera ekor panjang (*Macaca fascicularis*), Unggas: burung Gosong (*Megapodius reinwardi*), Elang Bondol/laut (*Haliastur indus*), Ayam Hutan (*Gallus sp*), Mamalia: Rusa Timor (*Cervus timorensis*) Keragaman flora dan fauna penghuni pulau harus dilestarikan dengan tetap mempertahankan status Satonda sebagai kawasan konservasi. Selain kawasan darat, perairan di sekitar Satonda merupakan perairan laut dengan terumbu karang yang bagus dikombinasikan dengan habitat padang lamun di pesisir menjadi *spawning ground* dan *nursery ground* bagi berbagai jenis ikan potensial di perairan Laut Flores. Keragaman ini perlu tetap dipertahankan dengan pengawasan terhadap praktek-

praktek penangkapan ikan yang merusak (*destructive fishing*). Survei batimetri akan lebih baik lagi jika disertai dengan survei potensi ikan (*Stock assessment*) dengan metode akustik.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Pulau Satonda dikelilingi oleh lereng terjal dengan kemiringan $16^{\circ} - 35^{\circ}$ di baratlaut, dan $8^{\circ} - 16^{\circ}$ tenggara. Secara geomorfologi terdapat lima bentuklahan asal gunungapi dan 5 bentuklahan asal marin. Pola iklim mengindikasikan bahwa curah hujan rendah sehingga tidak terdapat bentuklahan asal fluvial. Rendahnya curah hujan selain menyebabkan tidak intensifnya denudasi, proses pelapukan juga terjadi secara lambat yang dibuktikan dengan ditemukan lapisan tanah yang tipis dan batuan-batuan gunung api yang masih segar.
2. Penggunaan citra satelit Google Earth membantu dalam melakukan ekstraksi DEM dengan ketelitian cukup bagus untuk analisis semi detil (perencanaan ruang, perencanaan perkotaan secara umum, dan klasifikasi bentuklahan. Salah satu kelemahan dalam pemanfaatan citra Google Earth untuk ekstrak DEM adalah ketidakseragaman penutup lahan, terutama yang berupa hutan. Kesalahan vertikal harus dikoreksi, salah satunya dengan melakukan pemetaan foto udara ketinggian rendah dengan pesawat nir-awak (*drone*).
3. Salah satu manfaat dalam pemetaan morfologi adalah menemukan takik lereng atau *break of slope* sebagai salah satu bentukan dasar dalam melakukan rencana tata guna lahan. *Break of slope* selain mencerminkan perubahan lereng juga menjadi penanda perubahan intensitas proses geomorfologi.
4. Bentuklahan asal marin yang terbentuk di Pulau

Satonda mempunyai lebar pantai yang sangat terbatas, kecuali pada area pintu masuk kawasan sehingga pemanfaatan lahannya sangat terbatas dan harus berhati-hati karena banyak ditemukannya binatang langka. Pulau Satonda secara keseluruhan adalah kawasan konservasi dengan pemanfaatan wisata yang sangat terbatas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan karya tulis ilmiah dengan Triyono sebagai kontributor utama. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pusat Hidro Oseanografi TNI AL yang telah melibatkan penulis untuk mengikuti Ekspedisi Jalacitra-3 Flores beserta dengan fasilitas dan akomodasinya. Penulis juga berterima kasih kepada teman-teman peneliti satu tim Etape 4 Satonda, terutama Dr. Indranova Suhendro dari UGM.

DAFTAR PUSTAKA

- Becking, L. E., Renema, W., Santodomingo, N. K., Hoeksema, B. W., Tuti, Y., & de-Voogd, N. J. (2011). Recently Discovered Landlocked Basins in Indonesia Reveal Great Habitat Diversity in Anchialine System. *Hydrobiologia*, 677(3), 89–105.
- Brams, L. E. A. (2006). Characterization of volcanic deposits and geoarchaeological studies from the 1815 eruption of Tambora volcano. *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(1), 49–57. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol1no1.20066a>
- Brams, L. E. A., Kazmierczak, J. J., Kempe, S., Kremer, B., Mutaqin, B. W., Marfai, M. A., Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Faral, A., Wijayanti, H., Riasasi, W., Kempe, S., Kaźmierczak, J., Suparyanto., & Rosad0 (2015, Kazmierczak, J. J., Kempe, S., Pengembangan, S., Kabupaten, P., Nusa, D., & Barat, T. (2006). Geomorphology of the small island of Tidore and Hiri (North Maluku, Indonesia). *Current Organic Chemistry*, 81(1), 299–310. <https://doi.org/10.1306/061303740314>
- Dunn, P. D. (1987). Small islands and geomorphology: review and prospect in the context of historical geomorphology. *Transactions - Institute of British Geographers*, 12(2), 227–239. <https://doi.org/10.2307/622530>
- El-Ashmawy, K. L. A. (2016). Investigation of the Accuracy of Google Earth Elevation Data. *Artificial Satellites*, 51(3), 89–97. <https://doi.org/10.1515/arsa-2016-0008>
- Finkl, C. W. (2004). Coastal classification: Systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme. *Journal of Coastal Research*, 20(1), 166–213. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[166:ccsate\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20[166:ccsate]2.0.co;2)
- Garcia, G. P. B., & Grohmann, C. H. (2019). DEM-based geomorphological mapping and landforms characterization of a tropical karst environment in southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 93(March), 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.04.013>
- Julnita, A. (2006). *Kajian Geomorfologi Untuk Konservasi Tanah Di Sub Daerah Aliran Sungai Unggahan Hulu Kabupaten Wonogiri*. Skripsi. Surakarta : Fakultas Geografi UMS.
- Kazmierczak, J., Kempe, S., & Kremer, B. (2013). Calcium in the Early Evolution of Living Systems: A Biohistorical Approach. *Current Organic Chemistry*, 17(16), 1738–1750. <https://doi.org/10.2174/13852728113179990081>
- Kirono, D. G. C., Butler, J. R. A., McGregor, J. L., Ripaldi, A., Katzfey, J., & Nguyen, K. (2016). Historical and future seasonal rainfall variability in Nusa Tenggara Barat Province, Indonesia: Implications for the agriculture and water sectors. *Climate Risk Management*, 12, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.12.002>
- Mellawati, J., Suhartini, M., Keselamatan, P. T., Radiasi, M., Lebak, J., & Raya, B. (2018). Kajian Fauna Di Propinsi Nusa Tenggara Barat (Ntb): Studi Kasus Rencana Pembangunan Pltn. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, 141–150.
- Mutaqin, B. W., Lavigne, F., Wassmer, P., Trautmann, M., Joyontono, P., Gomez, C., Septiangga, B., Komorowski, J. C., Sartohadi, J., & Hadmoko, D. S. (2021). Evidence of unknown Paleo-Tsunami events along the Alas Strait, West Sumbawa, Indonesia. *Geosciences (Switzerland)*, 11(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/geosciences11020046>

- Mutaqin, B. W., Marfai, M. A., Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Faral, A., Wijayanti, H., & Riasasi, W. (2021). Geomorphology of the small island of Tidore and Hiri (North Maluku, Indonesia). *E3S Web of Conferences*, 325, 03012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132503012>
- Purinton, B., & Bookhagen, B. (2017). Validation of digital elevation models (DEMs) and comparison of geomorphic metrics on the southern Central Andean Plateau. *Earth Surface Dynamics*, 5(2), 211–237. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-211-2017>
- Wiratno & Iskandar. (2019). Konservasi Elang Flores (*Nisaetus floris*). *Workshop Konservasi Elang Flores (Nisaetus Floris) Dan Habitatnya Ende*, 19 - 21 Maret 2019, 1–9.
- Yudhicara., & Robiana, R. (2016). the Influence of Coastal Conditions To Tsunami Inundation of Bima Bay, West Nusa Tenggara. *Bulletin of the Marine Geology*, 29(1), 29. <https://doi.org/10.32693/bomg.29.1.2014.63>

