

Analisis Daerah Terdampak Letusan Gunungapi Rokatenda

Wikanti Asriningrum¹

¹Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN. Jl. Kalisari 8, Pekayon, PasarRebo, Jakarta, Telepon 021-8710786. E-mail wikantia@yahoo.com

Abstrak –Informasi daerah gunungapi aktif dibutuhkan untuk keberlangsungan pemanfaatan lereng gunung yang subur, sebagai perkebunan dan atau permukiman. Kasus letusan Gunungapi Rokatenda di Pulau Palue terakhir pada tahun 2013 memaksa penghuninya untuk mengungsi. Pulau kecil bergunungapi aktif sebagai studi kasus karena merupakan fenomena yang dapat dijumpai pada beberapa pulau di Nusantara. Penelitian ini memanfaatkan teknik penginderaan jauh untuk analisis daerah terdampak letusan. Teknik pengolahan citra dilakukan untuk mendapatkan citra komposit. Citra ini dimanfaatkan untuk mengenali karakteristik geofisik gunungapi dengan pendekatan analisis geomorfologi. Data yang digunakan adalah Citra Landsat, Peta Geologi, dan Peta Rupa Bumi. Hasil pengolahan citra dengan teknik fusi multispasial diperoleh citra komposit RGB 542. Analisis geomorfologi secara visual dari citra satelit diketahui melalui morfologi, bahwa Pulau Palue ini merupakan pulau kecil tipe vulkanik dengan terumbu pinggir. Citra komposit menampilkan informasi torehan dengan jelas yang digunakan untukantisipasi daerah terdampak letusan.

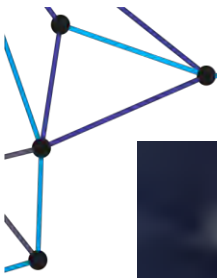
Kata kunci: Penginderaan jauh, gunungapi, Rokatenda, geomorfologi, letusan.

PENDAHULUAN

Kejadian letusan gunungapi Gamalama dan Rokatenda akhir-akhir ini menjadi gambaran fenomena pulau kecil dengan gunungapi aktif. Letusan dan aktivitas gunungapi serta bahayanya di suatu pulau kecil adalah fenomena menarik di negara kepulauan terbesar. Di Indonesia banyak dijumpai pulau kecil dengan gunungapi aktif. Meskipun, lebih banyak letusan gunungapi aktif terjadi di pulau besar, akan tetapi pulau-pulau kecil dengan gunungapi aktif juga banyak dijumpai. Dalam hal ini, teknik penginderaan jauh dengan fusi multispasial dan analisis geomorfologi diteliti untuk membantu memahami keterkaitan fenomena tersebut.

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki kekayaan sumberdaya alam terkait dengan gunungapi. Lahan yang terbentuk oleh aktivitas gunungapi menjadi bagian yang tak terpisahkan dengan ekosistem pesisirnya. Di antara gunungapi aktif yang muncul di Laut Flores adalah Gunung Rokatenda di Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Gunungapi aktif Rokatenda membentuk pulau kecil yang dinamakan Pulau Palue, sehingga pulau ini termasuk kriteria pulau kecil tipe vulkanik. Karakteristik letusan yang unik dan pola sebaran produk letusannya menarik untuk dikaji sehubungan dengan pertumbuhan pulau kecilnya dan terumbu karangnya.

Gunungapi Rokatenda mulai diketahui mengalami letusan hebat kurang lebih 200 tahun yang lalu dengan membentuk lima buah kawah dan satu kubah lava (*lava dome*). Catatan PVMBG (07-04-2014), Gunungapi Rokatenda berstatus waspada. Erupsi tahun 2012 – 2013 diawali pembentukan kubah lava pada 8 Oktober 2012 dan diikuti dengan erupsi abu dan lontaran batu (≥ 6 cm) hingga jarak 3.000 meter dari pusat erupsi. Tinggi asap/abu erupsi antara 800–4.000 meter di atas puncak kubah lava. Awan panas umumnya meluncur kearah selatan melalui lembah Podoba sehingga 2.500 meter dan kearah Barat-laut melalui lembah Ojaubi yang mencapai pantai. Banjir lahar terjadi akibat hujan di beberapa alur sungai yang berhulu di bagian puncak.



Gambar1. Pulau Palue (kiri atas) berada di Laut Flores dengan sebaran produk letusan (putih) ke arah barat laut.

Citra *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*,

29 April 2013 dari NASA.

Penelitian ini mengkaji pemanfaatan teknik penginderaan jauh untuk membangun citra komposit dan penajamannya, serta untuk analisis daerah terdampak letusan untuk perencanaan tata ruang dengan pendekatan analisis geomorfologi. Sasaran penelitian ini adalah pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk perencanaan pemanfaatan lahan pulau kecil bergunungapi danantisipasi daerah terdampak letusan.

DATA DAN METODE

Data yang digunakan adalah citra Landsat ETM⁺ P/R 111/66, tanggal 1 Juni 2002 daerah Pulau Palue Kabupaten Sikka, NTT. Citra satelit yang bersih dari awan dipilih pada penelitian ini untuk mendapatkan seleksi kanal yang sesuai karakteristik asli obyeknya. Citra MODIS tanggal 29 April 2013 saat terekam sebaran produk letusan.

Peta-peta yang digunakan sebagai pendukung adalah Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 lembar Uwa 2207-414; Peta Geologi skala 1:250.000 lembar Ende, NTT, dan Peta Kawasan Rawan Bencana.

Pengolahan citra Landsat menggunakan software ER-MAPPER 6.4. Metode pembuatan citra komposit dilakukan dengan pemilihan tiga kanal yang memiliki nilai OIF tertinggi, menggunakan Optimum Indeks Faktor (OIF) yaitu:

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 Abs(r_j)} \quad (1)$$

keterangan:

S_k : standar deviasi nilai-nilai spektral pada kanal

$Abs(r_j)$: nilai absolut koefisien korelasi antara tiap dua dari tiga kanal (Jensen, 1986).

Penajaman citra dilakukan menggunakan algoritma yang terdapat pada software ER-MAPPER 6.4; meliputi *linear*, *autoclip*, *levelslice*, *equalize*, *gaussian*, dan *logaritmik*. Selain itu dilakukan juga pemfilteran yang meliputi *high pass*, *low pass*, dan *edge*.

Metode analisis secara visual pada citra komposit terseleksi dan penajamannya menggunakan unsur-unsur interpretasi. Interpretasi pada unsur bentuk yang menjadi indikasi pulau kecil tipe vulkanik adalah membulat. Adanya kawah aktif menguatkan indikasi pulau vulkanik, antara lain berupa bentuk kawah dan produk letusan yang relatif baru.

Analisis daerah terdampak dengan pendekatan analisis geomorfologi terutama aspek morfologi dan aspek *morfoarangement*. Kedua aspek ini dapat diidentifikasi secara langsung dari citra satelit. Dua aspek lain, morfokronologi dan morfogenesis, dianalisis secara tidak langsung dari citra satelit. Bentuklahan dan karakteristiknyadiidentifikasi dengan pendekatan aspek morfologi. Aspek *morfoarangement* pada citra digunakan untuk bentuk dan pola pulau kecil.

Metode klasifikasi tipe pulau menurut morfogenesis (Tabel 1) untuk mengetahui tipe pulau. Secara geomorfologis proses vulkanik/magmatik dibedakan menjadi intrusif dan ekstrusif. Sedangkan morfografinya dibedakan antara berbukit dan datar. Proses vulkanik akan membentuk lahan hingga berbukit sampai bergunung, akan tetapi ada pula pulau vulkanik yang datar.

Tabel 1 Klasifikasi tipe pulau kecil menurut morfogenesis

Morfogenesis	Proses	Tipe pulau	Morfografi
Endogenik	Tektonik	lipatan patahan	Tektonik lipatan Tektonik patahan
	Vulkanik/ Magmatik	intrusif ekstrusif	Vulkanik intrusif Vulkanik ekstrusif
Eksogenik	Gradasif	degradasif	<i>Stack</i> <i>Monadnock</i>
		agradasif	<i>Hummock</i> Aluvial/delta <i>Moraine*</i>
	Biologik	karang	Terumbu Atol
		<i>mangrove</i>	Gambut*
	Antropogenik	manusia	Buatan*

Sumber: Asriningrum (2009) *) jarang terjadi di Indonesia.

Analisis daerah terdampak menggunakan identifikasi pola aliran dan dikorelasikan dengan interpretasi arah letusan. Lembah torehan dengan hulu di pusat letusan diidentifikasi dari arah aliran dan kedalamannya diinterpretasi dengan unsur bayangan lembah.

Peta-peta digunakan dalam mendukung analisis. Cek lapangan untuk mengamati produk letusan. Demikian jugacitra MODIS (Gambar1) dengan arah sebaran produk letusan terakhir Gunungapi Rokatenda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

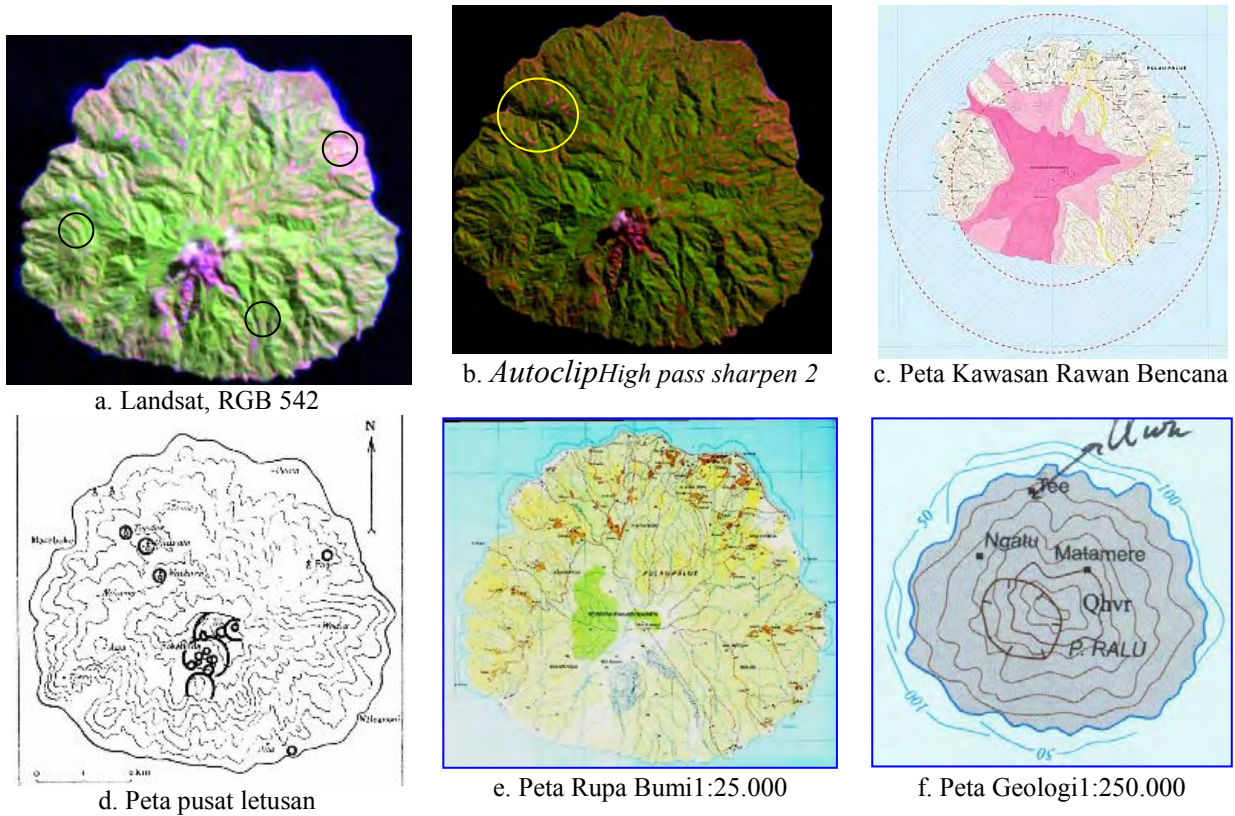
HASIL

Hasil pengolahan data citra Landsat untuk pemilihan kanal multispektral (kanal-kanal 2, 3, 4, 5, dan 7) terseleksi tiga kanal yang memiliki nilai OIF tertinggi yaitu 2 (hijau), 4 (inframerah dekat), dan 5 (inframerah tengah I). Artinya ketiga kanal ini merupakan kombinasi nilai spektral terbaik, sehingga lebih informatif untuk membentuk citra komposit dan pengolahan digital selanjutnya.

Kombinasi tiga kanal ini dibuat citra komposit RGB 542 (Gambar 2a). Dari citra ini, Pulau Palue dikenali berbentuk membulat. Analisis aspek morfologi lebih berperan dalam identifikasi karakteristik lahan. Di tengah pulau dapat diidentifikasi kawah-kawah berdampingan dengan produk letusan terakhir (*recent*) berwarna ungu. Warna pusat letusan berbeda jauh dengan warna sekitarnya yang menunjukkan perbedaan penutup lahan antara vegetasi (hijau) dan endapan baru piroklastik (unggu).

Hasil seleksi penajaman menggunakan algoritma penajaman dan pemfilteran pada Software ER-MAPPER, hasil seleksinya adalah penajaman *Autoclip* dan pemfilteran *High pass sharpen 2*(Gambar 2b). Citra hasil pengolahan ini menunjukkan morfografi lahan pulau vulkanik dengan kawah dan produk letusan terakhirnya lebih jelas. Area puncak yang berwarna ungu dan pusat-pusat letusan atau kawah dapat diidentifikasi.

Beberapa kawah atau pusat letusan tampak lebih jelas pada Gambar 2b dibandingkan dengan Gambar 2a. Pengolahan dengan *filter high pass sharpen 2* paling sesuai untuk karakteristik spektral ini. Sebagai pembanding, filter *edge detection* tidak sesuai. Proses ini mempertajam kekasaran topografi atau kekasaran torehan lahan. Gambar 2d membantu untuk identifikasi kawah pada Gambar 2b. Artinya pengolahan citra melalui seleksi kanal, citra komposit, penajaman, dan filter adalah tahapan yang diperlukan untuk identifikasi karakteristik pulau kecil bergunungapi. Meskipun, *filter high pass sharpen 2* ini menyebabkan obyek terumbu karang di pesisir kurang jelas.



Gambar 2. Pulau Palue dari citra Landsat (a dan b) dan peta.

PEMBAHASAN

Pusat letusan bagian Barat Laut (Gambar 2d) ada tiga buah pusat letusan. Pusat letusan ini bila dibandingkan dengan peta pusat letusan (Gambar 2b) bahwa pusat letusan sebanyak tiga buah itu telah menjadi lembah yang tertoreh sangat tajam. Dimana daerah itu telah menjadi lembah yang tertoreh sangat tajam; seperti yang ditunjukkan dengan warna gelap pada lerengnya.

Arah letusan terakhir (Gambar 1) ke Barat Laut. Dengan kata lain, arah letusan searah dengan torehan sangat tajam ini. Citra multi temporal ini (Landsat 2002 dan MODIS 2013) memberi gambaran area terdampak letusan. Produk letusan akan diendapkan di daratan serta di pesisir dan lautan. Di daratan pulau perlu diwaspadai kemungkinan bahaya lahar di sepanjang pola aliran. Pada kasus letusan terakhir ini, perlu diwaspadai arah Barat Laut seperti area yang terdapat lembah relatif dalam. Demikian hal di pesisir, bahwa area terumbu karang kemungkinan terdampak.

Peta kawasan rawan bencana (Gambar 2c), warna pink tua dan muda, menunjukkan korelasi antara lokasi kawah dengan keterjalan torehan dan arah aliran. Arah letusan ke Selatan dan Barat Laut masih menjadi perhatian utama; yang ditunjukkan dengan warna pink tua dan muda. Namun, informasi pusat letusan di Pantai Uwa bagian Timur Laut dan pantai bagian Tenggara pada Gambar 2d dapat dijadikan acuan; bahwa pusat letusan dijumpai di berbagai arah.

Citra dengan kekasaran lahan ditunjukkan oleh torehan dan aliran. Pulau Palue sebagai miniatur aktivitas vulkanik memberikan rekaman kronologis melalui torehan dan aliran. Dari citra dikenali bahwa torehan atau pola aliran mempunyai pusat hulu yang berpacaran. Sebagai contoh, dapat dikenali tiga aliran radial (lingkaran di Gambar 2a). Di bagian Barat Daya terdapat pola aliran radial sentrifugal penuh. Karakteristik pulau vulkanik adalah pola aliran radial sentrifugal. Hal ini menandakan adanya beberapa pusat letusan seperti ditunjukkan pada Gambar 2d. Pusat letusan terakhir relatif berada di tengah pulau yang berbentuk membulat. Namun, bentuk torehan dan arah aliran memberikan rekaman kronologis terbentuknya pulau kecil ini.

Sebagai pendukung analisis, pola kontur dari Peta Rupa Bumi (Gambar 2e) menunjukkan indikasi pusat-pusat pola aliran radial. Garis kontur sangat rapat menandakan kekasaran topografi sangat tinggi. Hal ini merupakan indikasi terbentuknya longsor yang sangat intensif. Interpretasi dari citra dan peta ini dapat dimanfaatkan untuk saling melengkapi. Daerah permukiman berada di belahan utara pulau, sedangkan belahan selatan pulau tidak ada permukiman. Di daratan dimanfaatkan sebagai tanaman perkebunan seperti kelapa, cengkeh, dan jambu mete. Di pesisir, penduduk mengambil manfaat dari sumberdaya perikanan dan terumbu karang.

Citra daratan dengan relief topografinya berguna untuk perencanaan perkebunan atau permukiman yang aman dari bahaya letusan dan lahar. Ada tanda-tanda yang mengawali letusan gunungapi. Dalam hal ini, informasi karakteristik lahan seperti pada studi kasus ini bisa dimanfaatkan sebagai bahan perencanaan pemanfaatan lahan, untuk perkebunan ataupun permukiman. Peta Rupa Bumi skala 1: 25.000 (Gambar 2e) menunjukkan lokasi permukiman.

Pulau Palue ini akan terus bertumbuh seiring dengan peristiwa letusannya. Foto cek lapangan menunjukkan material lepas piroklastik dari puncak (Gambar 3a) hingga ke pantai (Gambar 3d). Solum tanah di pulau vulkanik dari atas hingga ke bawah menunjukkan kekasaran batuan yang telah terlapuk dan yang relatif masih segar (Gambar 3b dan 3c).



a. Lereng gunung

b. Solum tanah, atas

c. Solum tanah, bawah

d. pesisir bagian barat

Gambar 3. Produk letusan Gunungapi Rokatenda.

Korelasi antara letusan dan pertumbuhan terumbu karang dapat dikenali dari warna biru di pesisirnya, dimana pada bagian Selatan dan Barat tidak dikenali adanya warna biru. Kedua sisi itu, terutama Bagian Selatan, warna biru menjadi indikasi terumbu karangnya. Di sisi Bagian Selatan ini ekosistem pesisir terdampak oleh letusan gunungapi. Dampak produk letusan terhadap terumbu karang akan terjadi di daerah arah sebaran letusan yaitu Barat Laut (Gambar 1).

Daerah pesisir dapat diidentifikasi berwarna biru muda (Gambar 2a). Pesisir ini menjadi tempat pertumbuhan terumbu karang yang baik karena berada di samudra yaitu Laut Flores. Proses terbentuknya terumbu pinggir ini termasuk tahap awal dari bentuk terumbu samudera (Strahler and Strahler 1978). Informasi dari nelayan setempat, di bagian Utara, terumbu pinggir ini berkembang dengan baik dengan adanya terumbu meja dalam kondisi baik.

Terumbu karang ini dapat tumbuh dan berkembang pada kedalaman kurang dari 100m, kondisi air cukup jernih dan cahaya dapat menembus untuk proses fotosintesis (Selby, 1985; Bloom, 1979). Informasi dari Peta Geologi menunjukkan kedalaman pesisir tercatat 50 m dan 100 m (Gambar 2f), artinya daerah ini sesuai untuk terumbu karang. Namun, dampak sebaran letusan akan mempengaruhi kejernihan air dan cahaya akan terganggu masuk menembus ke perairan. Dalam hal ini, adanya letusan Gunungapi Rokatenda, terumbu karangnya akan mengalami gangguan pertumbuhan.

Peta Geologi menunjukkan bahwa batuan berumur kuarter. Sementara itu, Gunungapi Rokatenda termasuk tipe stratovulkano (Bemmelen, 1970). Karakteristik ini dapat mewakili pulau kecil tipe vulkanik dengan gunungapi aktif. Peta pusat letusan dari Neumann van Padang, 1930 sebagaimana diterbitkan lagi tahun 1983 (Gambar 2d) diunggah oleh Susan W. Kieffer beberapa hari setelah letusan tahun 2013.

Klasifikasi tipe pulau kecil menurut Asriningrum (2009), Pulau Palue termasuk kelompok pulau kecil tipe vulkanik. Secara geomorfologis pulau ini terbentuk oleh proses magmatik atau vulkanik ekstrusif dengan morfografi berbukit. Bentuk membulat dan pola torehan rapat. Pola aliran adalah multi radial sentrifugal.

Berdasar genesis dan tataan tektonik regional pulau-pulau dan gugusan pulau di Indonesia; dilakukan pengelompokan pulau kecil berdasarkan tektonogenesis untuk perencanaan tata ruang darat, laut dan dirgantara nasional. Pengelompokannya membagi menjadi empat yaitu kelompok pulau yang terbentuk pada busur muka, busur magmatik, paparan benua dan busur belakang, serta benua renik (PSG, 2006). Pada studi kasus, pulau kecil tipe vulkanik seperti Pulau Palue ini berada di busur magmatik.

Pulau kecil bergunungapi dijumpai di Indonesia di sepanjang busur magmatik. Pada busur inilah pulau kecil tipe vulkanik dijumpai. Beberapa pulau kecil tipe vulkanik bergunungapi aktif, banyak diantaranya berbentuk membulat dengan pola radial sentrifugal. Disepanjang busur magmatik ini pulalah banyak dijumpai pulau kecil tipe atol.

Pulau kecil vulkanik dan daya tarik sumberdaya lahan darat dan pesisirnya perlu diwaspadai adanya aktivitas gunungapi. Daerah terdampak letusan ditunjukkan oleh Peta kawasan rawan bencana. Bagian pulau lain perlu diwaspadai pula karena bentuk pulau yang membulat ini adalah hasil endapan produk letusan. Ukuran pulau yang relatif kecil membuat upaya evakuasi harus disiapkan di pulau lain.

Berdasarkan delineasi garis pantai dari citra Landsat, Pulau kecil Palue mempunyai luas 370 Ha. Pulau ini masuk Kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Perjalanan laut dapat ditempuh sekitar satu jam dari Maumere. Ukuran pulau yang kecil dan lokasi pulau yang jauh dari pulau lain menyebabkan Pulau Palue dapat dikategorikan sebagai pulau yang terisolasi. Karakteristik Pulau Palue ini, menunjukkan adanya kerentanan ekologis yaitu berupa letusan gunungapi. Menurut Hess (1990) pulau kecil mempunyaikendala skala ekonomis dalam pembangunan. Meskipun menurut Hein (1990) pulau kecil juga banyak mengandung keuntungan. Dalam hal ini, pemanfaatan citra Landsat, menggunakan analisis spektral dan analisis spasial, memberikan informasi akan kendala ekologis sekaligus juga potensi daratan pulau dan pesisirnya.

KESIMPULAN

Pengolahan citra untuk mendapatkan komposit kanal dan penajamannya menampilkan morfologi daratan pulau dari puncak hingga pesisir dengan variasi torehannya. Citra ini dapat membantu perencanaan pemanfaatan lahan untuk perkebunan dan permukiman. Identifikasi lahan vulkanik di seluruh sisi pulau untuk semua arah letusan dapat dilakukan terlebih untuk tujuan evakuasi penduduk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada LAPAN atas pendanaan pada Riset Unggulan Kedirgantaraan tahun 2007 dan teman-teman anggota tim atas bantuannya pada pengumpulan data citra dan data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asriningrum, W. (2009) Pengelompokan Pulau Kecil dan Ekosistemnya Berbasis Geomorfologi di Indonesia. *Disertasi S3 Teknologi Kelautan*, FPIK, IPB, Bogor.
- Bemmelen, R.W.V. (1970) *The Geology of Indonesia Vol 1A General Geology*, Martinus Nijhoff, The Hague Netherlands.
- Bloom, A.L. (1979) *Geomorphology, A Systematic Analysis of Late Cenocoic Landforms*. Prentice Hall of India, New Delhi.
- DKP (Departemen Kelautan dan Perikanan) (2001) *Pedoman Umum Pengelolaan Pulau-pulau Kecil yang Berkelanjutan dan Berbasis Masyarakat*. Direktorat Jendral Pesisir dan Pulau-pulau Kecil, Jakarta.
- Hein, PL. (1990) Economic Problems and Prospects of Small Islands. Dalam Beller, W., P. d'Ayala, and P. Hein. (editor): *Sustainable Development and Environmental Management of Small Islands*. Man and The Biosphere Series, Vol. 5. UNESCO and The Parthenon Publishing Groups, Paris.
- Hess, AL. (1990) Overview: Sustainable Development and Environmental Management of Small Islands. Dalam Beller, W., P. d'Ayala, and P. Hein. (editor): *Sustainable Development and Environmental Management of Small Islands*. Man and The Biosphere Series, Vol. 5. UNESCO and The Parthenon Publishing Groups, Paris.
- Jensen, J. R. (1986) *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Second Edition. Prentice Hall, New Jersey.
- PSG (Pusat Survei Geologi) (2006) *Atlas Pengelompokan Pulau Kecil Berdasarkan Tektonogenesis untuk Perencanaan Tata Ruang Darat, Laut, dan Dirgantara Nasional*. Bandung.
- PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi), Badan Geologi (2015) Penurunan Status Kegiatan Gunungapi Rokatenda dari Siaga (level III) Menjadi Waspada (level II). 07 April 2014. Diunduh 10 Januari 2015.
- Selby, M.J. (1985) *Earth's Changing Surface. An Introduction to Geomorphology*. Oxford University Press. New York.



Strahler, A.N. and Strahler, A.H. (1978) *Modern Physical Geography*. John Willey & Sons. New York.

<http://blog.nature.org/conservancy/2012/11/20/expedition-to-the-spice-islands-corals-and-volcanoes/#sthash.ufv1NAXm.dpuf> Posted by Susan W. Kieffer.