

**IDENTIFIKASI MATERIAL PIROKLASTIK
PASCA ERUPSI GUNUNG KELUD
MENGUNAKAN CITRA *HYPERSPEKTRAL*
(**HYPERSPECTRAL IMAGERY FOR IDENTIFICATION OF
KELUD VOLCANO PYROCLASTIC MATERIAL**)**

Seftiawan Samsu Rijal^{1,a}

¹Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya

^aKontributor Utama

e-mail: seftiawan.sr@ub.ac.id

Diterima 2 April 2020; Direvisi 6 Juni 2020; Disetujui 15 Juni 2020

ABSTRACT

After seven years with dormant status, Kelud has back to eruption phase on 13th February 2014. The eruption column was very huge and leaving a large number of pyroclastic materials on the flank of volcano. It is crucial to mapping out the sediment to avoid secondary hazard coming with the rain as triggering factor. Terrestrial survey on the hazardous volcanic area seems impossible to do. One of the propose method to identify pyroclastic material is using hyperspectral imagery. Hyperspectral imagery could be processed using Pixel Purity Index (PPI) to extract Endmember. Endmember has an ability to build spectral responses, basis of field sampling of pyroclastic material and as an input of multispectral classification. The results show that grain size of the pyroclastic material is about 0 - 2 ϕ . Each grain size attained the highest reflections in the different spectrum, that was 0 ϕ in 823,65 nm, 1 ϕ in 1305,96 nm and 2 ϕ in 1497,63 nm with the percentage of grain size was 16,17%, 18,69%, and 27,03 % respectively. Multispectral classification using Spectral Angle Mapper (SAM) method shows that the distribution of the pyroclastic were on the west-north flank of the volcano.

Keywords: *hyperspectral, eruption, volcano, pyrcolastic, spectral angle mapper*

ABSTRAK

Gunung Kelud merupakan gunungapi yang mengalami erupsi pada tanggal 13 Februari 2014 setelah 7 tahun sebelumnya berada dalam kondisi dorman. Kolom letusan yang dihasilkan cukup besar dan meninggalkan endapan material piroklastik pada tubuh gunungapi. Hal ini harus dipantau untuk mencegah terjadinya bencana sekunder dari letusan gunungapi. Survei terestris pada wilayah bencana Gunung Kelud hampir tidak mungkin dilakukan karena kondisi yang cukup membahayakan. Salah satu cara untuk dapat mengidentifikasi material piroklastik hasil letusan gunungapi adalah menggunakan citra hyperspektral. Pengolahan citra hyperspektral dapat dilakukan menggunakan *Pixel Purity Index (PPI)* agar mendapatkan *endmember* yang berfungsi untuk menyusun kurva spektral dan basis pengambilan sampel material piroklastik di lapangan untuk mengetahui ukuran butir melalui uji granulometri. Hasil uji granulometri menunjukkan bahwa rerata ukuran material piroklastik adalah $0 - 2 \phi$. Kurva spektral yang dihasilkan oleh masing – masing ukuran sampel memperlihatkan bahwa material piroklastik sebesar 0ϕ dapat diidentifikasi pada panjang gelombang 823,65 nm, 1ϕ pada panjang gelombang 1305,96 nm dan 2ϕ pada panjang gelombang 1497,63 nm. Nilai pantulan setiap material piroklastik pada masing – masing panjang gelombang sebesar 16,17%, 18,69% dan 27,03%. Pemetaan menggunakan metode *Spectral Angle Mapper (SAM)* menunjukkan sebaran material dengan ukuran tersebut berada pada sisi utara dan barat tubuh gunungapi.

Kata kunci: *hyperspektral, erupsi, gunungapi, piroklastik, spectral angle mapper*

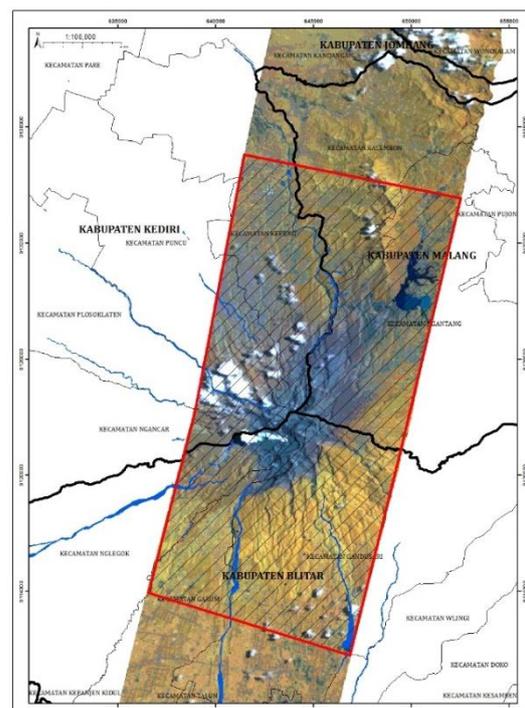
1 PENDAHULUAN

Tatanan geologi Indonesia yang terdiri atas tumbukan tiga lempeng Bumi: Eurasia, Pasifik dan Indo-Australia membuat fenomena pergerakan Bumi sering terjadi di negara ini seperti anomali gravitasi, gempa bumi dan aktivitas vulkanik. Deretan gunungapi di Indonesia berbaris memanjang dari ujung barat Pulau Sumatera, sepanjang Pulau Jawa, Pulau Bali, Kepulauan pada wilayah Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur, kemudian berlanjut ke utara ke arah Ambon, Maluku dan Sulawesi Utara. Terdapat sekitar 128 – 129 gunungapi dan beberapa diantaranya berada dalam kondisi aktif (Sumintadiredja, 2005).

Salah satu gunungapi yang masih aktif di Indonesia adalah Gunung Kelud. Terletak pada koordinat $7^{\circ} 56' \text{ LS}$ dan $112^{\circ} 18,5' \text{ BT}$ dengan ketinggian 1.731 mdpl. Gunung Kelud menjadi batas alam antara Kabupaten Blitar, Malang dan Kediri di Provinsi Jawa Timur (Gambar 1-1). Catatan tertua letusan Gunung Kelud yang berhasil diketahui terjadi pada tahun 1000 (É. De Bézizal, *et al.*, 2012). Pada tanggal 13 Februari 2014, Gunung Kelud mengalami erupsi kembali setelah 7 tahun lamanya berada dalam kondisi dorman (Sulaksana, *et al.*, 2014). Erupsi tersebut digolongkan dalam tipe strombolian dengan kolom letusan mencapai tinggi 15 km.

Dampak dari erupsi Gunung Kelud antara lain hilangnya anak Gunung

Kelud, mengeringnya danau kawah dan terlontarnya material piroklastik baik jatuhnya piroklastik maupun aliran piroklastik. Jatuhan piroklastik berukuran $<0,25 - 4 \text{ mm}$ yang terbawa angin mampu menonaktifkan beberapa bandara di Pulau Jawa dalam kurun waktu seminggu pasca letusan. Hal ini tentu saja sangat mengganggu mobilitas penerbangan. Terdapat sisa material erupsi yang masih menyelimuti tubuh Gunung Kelud dan harus dipantau agar meminimalisir terjadinya potensi kerugian akibat bencana sekunder seperti banjir lahar.



Gambar 1-1: Lokasi penelitian

Survei terestris untuk melakukan pemantauan sisa material erupsi gunungapi hampir tidak mungkin dilakukan dikarenakan kondisi yang membahayakan. Diperlukan sebuah pendekatan komprehensif yang mampu memberi gambaran mengenai kondisi sisa material erupsi yang masih terdapat di sekitar tubuh gunungapi, salah satunya adalah dengan menggunakan citra penginderaan jauh (Dávila, *et al.*, 2011).

Citra penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan memetakan komposisi material piroklastik melalui kurva spektral. Pilihan satelit yang dapat digunakan adalah *Earth Observing-1 (EO-1)* yang memiliki julat panjang gelombang 400 hingga 2500 nm. Julat panjang tersebut adalah instrumen yang ideal untuk mendeteksi aktivitas gunungapi (Davies, *et al.*, 2006). Satelit *EO-1* mengorbit bersama sensor *Advanced Land Imager (ALI)* dan sensor *Hyperion*, sebagai salah satu satelit penyedia data hyperspektral.

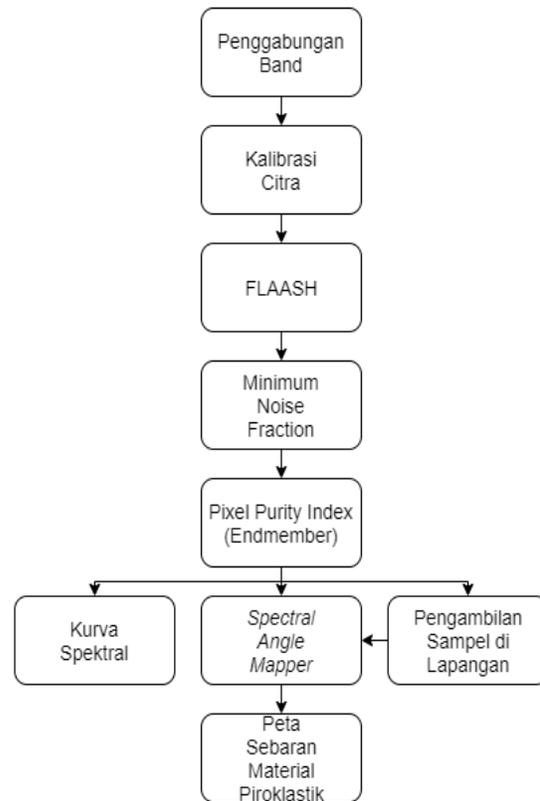
Material piroklastik memiliki keragaman komposisi dari rombakan fragmen dengan besaran tertentu yang akan mengecil seiring bertambahnya jarak dengan pusat letusan (De Bézal *et al.*, 2013). Sebaran ukuran butir material piroklastik pada jarak tertentu dari pusat letusan dan kurva spektral yang dihasilkan akan dapat menjadi panduan untuk memprediksi bencana sekunder yang ditimbulkan oleh erupsi gunungapi.

2 METODOLOGI

Citra yang digunakan pada penelitian ini adalah Citra EO-1 L1Gst perekaman 5 Maret 2014. Perekaman citra dengan kejadian letusan Gunung Kelud berjarak sekitar 3 minggu (13 Februari 2014 – 5 Maret 2014). Citra ini merupakan hasil perekaman yang terdekat dengan tanggal kejadian.

EO-1 memiliki 242 julat panjang gelombang (*band*) tapi tidak semuanya dapat digunakan karena tidak terkalibrasi, sehingga sensitivitasnya rendah seperti pada *band* 1-8, 58,77 dan 225-242 (Datt & Jupp, 2004; Khasanah,

2013). Penelitian ini melakukan penggabungan pada *band* 8-57 untuk interpretasi pada gelombang *Very Near Infrared (VNIR)* dan 82-120, 134-150, 154-163 dan 183-217 untuk interpretasi *Short Wave Infrared (SWIR)*. Panjang gelombang untuk VNIR adalah 436 nm – 926 nm sedangkan untuk SWIR adalah 892 – 2406 nm. Hanya 151 *band* yang dapat digunakan untuk melakukan interpretasi. Setelah penggabungan *band* dilakukan tahap persiapan citra, pengolahan, pengambilan sampel di lapangan dan klasifikasi citra menggunakan *Spectral Angle Mapper (SAM)*. Agar lebih jelas mengenai alur penelitian dapat melihat Gambar 2-1 di bawah ini.



Gambar 2-1: Diagram alir penelitian

2.1 Kalibrasi dan Koreksi FLAASH

Kalibrasi citra EO-1 dilakukan dengan membagi setiap panjang gelombang dengan faktor skala 40 untuk rentang panjang gelombang VNIR dan faktor skala 80 untuk SWIR.

Citra yang telah dikalibrasi kemudian dilakukan koreksi atmosferik absolut yaitu koreksi yang memperhatikan kondisi atmosfer dan iluminasi geometri pada saat perekaman citra. Hal ini dilakukan untuk mengestimasi jumlah hamburan dan serapan di setiap panjang gelombang dengan lebih tepat.

Koreksi atmosferik absolut yang digunakan adalah FLAASH (*Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis Spectral Hypercubes*). Parameter yang diperlukan oleh FLAASH antara lain model atmosfer, model aerosol, rerata ketinggian wilayah (km), tipe sensor, tanggal perekaman, jam perekaman, jarak pandang, ukuran piksel, koordinat titik tengah citra, *water retrieval*, sudut zenith dan sudut azimuth (Danoedoro, 2012). Deskripsi setiap parameter yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1: PARAMETER KOREKSI FLAASH

Parameter	Deskripsi
Model atmosfer	Tropical
Model aerosol	Rural
Rerata ketinggian wilayah	0,80
Tipe sensor	EO-1 Hyperion
Tanggal perekaman	5 Maret 2014
Jam perekaman	13:33
Jarak Pandang	40 km
Ukuran piksel	30 m
Koordinat titik tengah citra	5° 56' 44" LS dan 112° 18' 15" BT
Water retrieval	820 nm
Sudut zenith	46,43
Sudut azimuth	90,94

Sumber: Metadata citra

2.2 Minimum Noise Fraction

Minimum Noise Fraction (MNF) berguna untuk mengurangi redundansi informasi dan memisahkan gangguan (*noise*) dari citra yang digunakan. MNF akan menghasilkan *eigenvalues* dan *eigenimages*. *Eigenvalues* akan ditampilkan dalam kurva kartesius yang berisi informasi mengenai *eigen* dan jumlah *band*, nilai *eigen* tanpa *noise* akan

lebih besar dari 1. Sementara itu, *eigenimages* akan menghasilkan citra, dimana citra tanpa *noise* akan tampil tanpa garis – garis (*striping*) atau koheren visual (Lantz, 2012).

2.3 Pixel Purity Index

Pixel Purity Index (PPI) diasumsikan sebagai piksel paling murni yang hanya terdiri dari sebuah objek tanpa kontaminasi objek lain pada sebuah piksel. Penentuan PPI pada citra EO-1 didasarkan pada nilai ambang batas (*threshold*) sebanyak 2 atau 3 kali lebih tinggi dari level *noise* citra yang digunakan. PPI membutuhkan nilai iterasi. Semakin banyak iterasi, maka akan semakin banyak pula PPI yang ditemukan. Iterasi yang digunakan pada penelitian ini adalah 2500. Nilai ini dapat mewakili proses PPI pada area penelitian setelah sebelumnya nilai lain pada kisaran nilai 2500 juga sudah diujicobakan. PPI akan menghasilkan beberapa piksel murni yang harus diseleksi kembali untuk menjadi *endmember* sebagai basis pembangunan kurva spektral dan titik pengambilan sampel di lapangan.

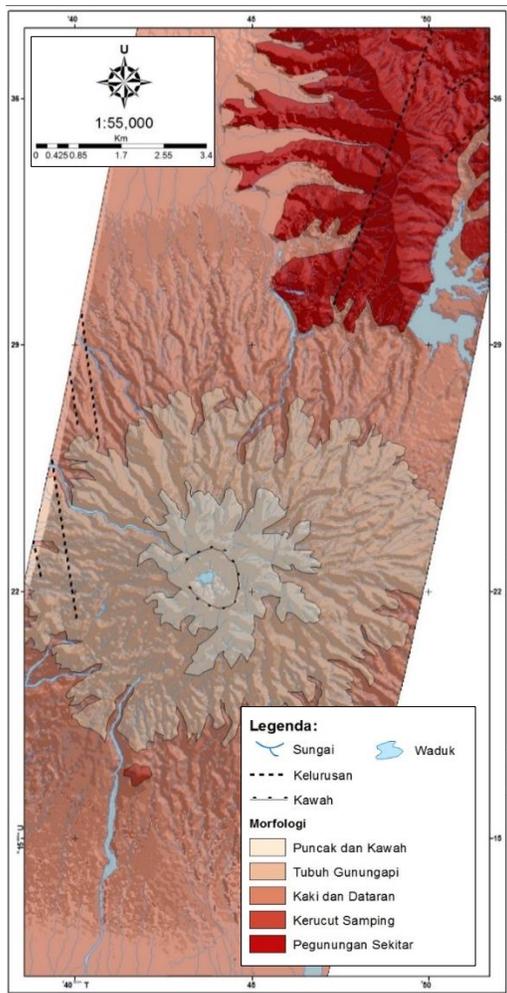
2.4 Spectral Angle Mapper

Spectral Angle Mapper (SAM) merupakan salah satu algoritma dalam kelompok taksonomi multispektral yang dapat diterapkan pada citra hyperspektral (Eismann, 2014). SAM mengenali objek berdasarkan letak suatu piksel yang mewakili objek tersebut terhadap sudut acuan yang dibentuk dari dua titik referensi yang dapat berasal dari pengukuran menggunakan spektroskopis di lapangan, pengukuran di laboratorium atau referensi piksel objek yang sama dengan yang sedang dikaji (Danoedoro, 2012; Lillesand *et al.*, 2014).

2.5 Analisis Data Fisik Ukuran Butir Material Piroklastik

Analisis ukuran butir dilakukan untuk mengetahui komposisi sedimen material piroklastik. Deskripsi ukuran

butir dapat dijelaskan oleh empat parameter yaitu rerata ukuran (M_z), sortasi (σ), kemencengan (S_k), dan keruncingan (K_G). Rerata ukuran diambil dari 100 gram sampel yang diuji. Sortasi menunjukkan keseragaman butir pada 100 gram sampel yang diuji. Kemencengan menggambarkan tekstur (halus/kasar) butir objek, jika kemencengan bernilai positif maka objek tersebut dikategorikan sebagai butir kasar dan juga sebaliknya. Sedangkan, keruncingan adalah nilai ketajaman dari material piroklastik.



Gambar 2-2: Hasil interpretasi morfologi Gunung Kelud

2.6 Morfologi Gunung Kelud

Menurut Badan Geologi (2014) satuan morfologi Gunung Kelud dapat dikelompokkan menjadi 4 yaitu morfologi Puncak dan Kawah, morfologi Tubuh Gunungapi, morfologi Kerucut Samping dan morfologi Kaki dan Dataran. Pada setiap morfologi dilakukan pengambilan sampel material piroklastik kecuali morfologi Kerucut Samping. Hal ini dikarenakan morfologi Kerucut Samping tidak mudah diakses.

Setiap morfologi dapat diinterpretasi secara visual melalui citra dengan menggunakan unsur – unsur interpretasi seperti bentuk, bayangan, dan pola aliran sungai seperti pada Gambar 2-2.

3 HASIL PEMBAHASAN

Hasil uji laboratorium terhadap sampel material piroklastik yang diambil di lapangan berdasarkan *endmember* menunjukkan bahwa nilai rerata ukuran butir berkisar antara 0,66 – 2,99 ϕ , Blott & Pye (2001) menjelaskan nilai tersebut secara terminologi dapat dikelaskan sebagai kelas pasir sangat kasar hingga pasir biasa.

Nilai sortasi berada pada rentang 1,2 – 2,6 ϕ , hal ini dapat dikategorikan sortasi agak buruk dan sangat buruk. Nilai kemencengan dapat bernilai positif maupun negatif. Pada sampel yang diuji, rentang nilai berada pada -0,21 hingga 0,26 ϕ , artinya terdapat butiran yang memiliki tekstur halus maupun kasar.

Terakhir, nilai keruncingan terdiri atas rentang 0,34 – 3,65 ϕ . Rentang nilai tersebut menandakan bahwa sampel terdistribusi mulai butiran sangat tumpul hingga sangat runcing sesuai dengan klasifikasi batuan sedimen oleh Folk (1974). Agar lebih jelas mengenai perbandingan ukuran material piroklastik dengan satuan morfologi Kelud dapat dilihat pada Tabel 3-1.

3.1 Respon Spektral pada Morfologi Puncak dan Kawah

Material piroklastik yang ditemukan pada morfologi ini termasuk dalam kategori pasir, sortasi sangat buruk, tekstur kasar karena kemencengannya bernilai positif dan keruncingan normal. Nilai pantulan tertinggi berkisar 14% pada rentang panjang gelombang 1336,15 nm dan 1497,63 nm. Rentang panjang gelombang tersebut merupakan spektrum inframerah tengah. Sementara itu, nilai pantulan terendah berkisar pada nilai 3% yang terjadi pada panjang gelombang kisaran 800 nm atau inframerah dekat. Hal ini menandakan pada kawasan puncak dan kawah gunungapi dengan kondisi banyak terdapat material pasir dapat digunakan spektrum inframerah tengah untuk melakukan pengamatan (Gambar 3-1).

3.2 Respon Spektral pada Morfologi Tubuh Gunungapi

Pada morfologi tubuh gunungapi, material piroklastik yang ditemui memiliki kategori berupa pasir, sortasi agak buruk, tekstur kasar dan sangat runcing. Nilai pantulan tertinggi terdapat pada panjang gelombang 1497,63 nm sebesar 27%. Sementara itu pantulan terendah terdapat

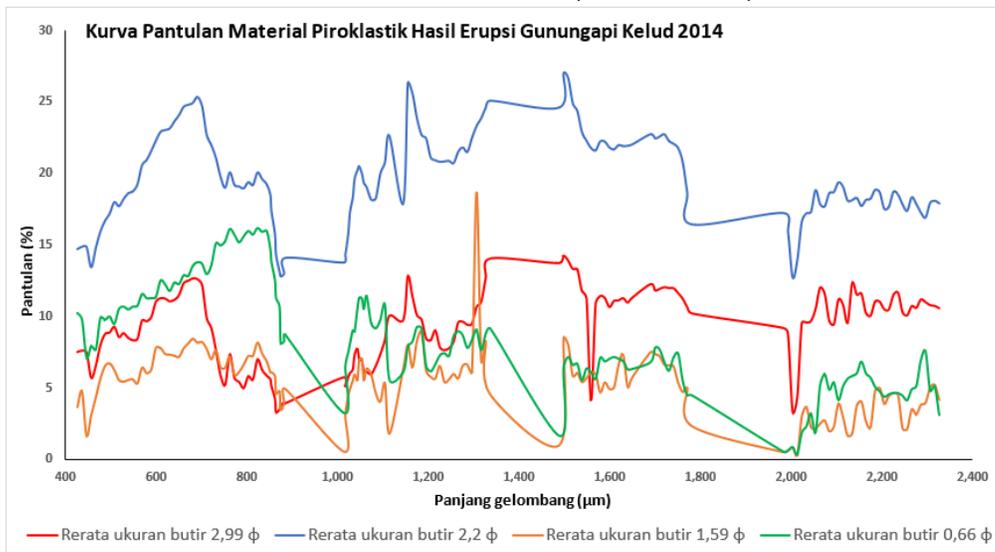
pada panjang gelombang kisaran 800 nm yang hanya memantulkan sebanyak 12%.

Pola pantulan tertinggi-terendah dan kisaran panjang gelombang yang memantulkan pada morfologi ini serupa dengan respon spektral pada material piroklastik di morfologi kaki dan dataran (Gambar 3-1).

3.3 Respon Spektral pada Morfologi Kaki dan Dataran

Pada morfologi kaki dan dataran diambil dua titik pengamatan berdasarkan jarak letusan yaitu 9 km dan 16 km. Setiap jarak letusan memiliki kategori masing – masing sebagaimana yang tampil pada Tabel 3-1.

Material piroklastik pada jarak 9 km memiliki kategori pasir agak kasar, sortasi sangat buruk, teksturnya halus namun runcing. Material piroklastik ini memiliki pantulan tertinggi sebesar 18,69% yang dihasilkan oleh panjang gelombang 1305,96 nm. Material piroklastik pada jarak 16 km dari pusat letusan adalah berupa pasir sangat kasar, sortasi agak buruk, tekstur kasar dan sangat tumpul. Pantulan tertinggi yang dihasilkan oleh material ini dapat diidentifikasi pada panjang gelombang 700 – 800 nm dengan kisaran pantulan sebesar 13 – 16% (Gambar 3-1).



Gambar 3-1: Kurva spektral material piroklastik hasil erupsi Gunung Kelud 2014

Tabel 3-1: PERBANDINGAN UKURAN MATERIAL PIROKLASTIK PADA MORFOLOGI TUBUH GUNUNGAPI

Ukuran butir dan Morfologi	Jarak dari Pusat Letusan (Km)	Rerata ukuran butir (M_z)		Sortasi (σ)		Tekstur / Kemencengan (S_k)		Keruncingan (K_G)		
		ϕ	Kategori	ϕ	Kategori	ϕ	Kategori	ϕ	Kategori	
Morfologi	Puncak dan Kawah	0	2,990	Pasir	2,07	Sangat buruk	0,200	Kasar	1,030	Normal
	Tubuh Gunungapi	3	2,200	Pasir	1,2	Agak buruk	0,179	Kasar	3,650	Sangat runcing
	Kaki dan Dataran	9	1,599	Pasir agak kasar	2,611	Sangat buruk	-0,211	Halus	1,264	Runcing
		16	0,660	Pasir sangat kasar		1,82		Agak buruk		Kasar

3.4 Respon Spektral Material Piroklastik Gunung Kelud

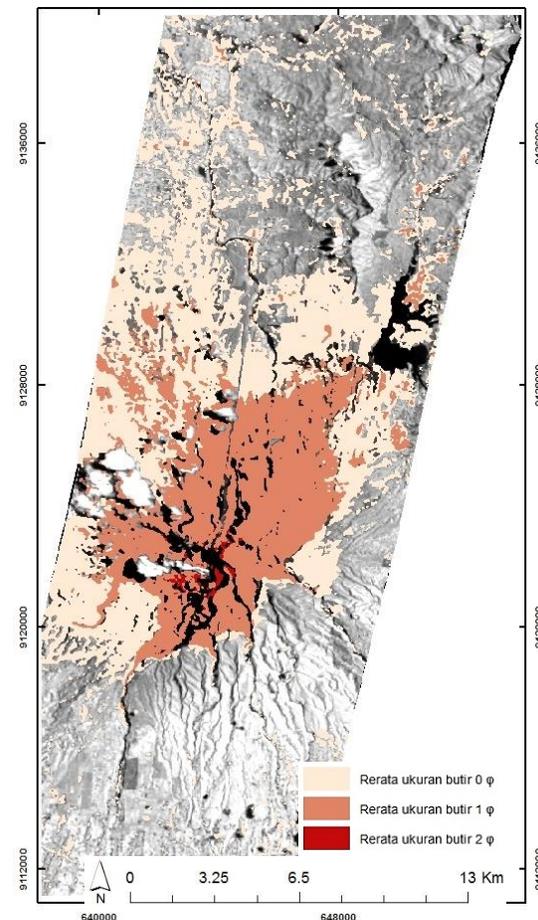
Ukuran butir 2,99 ϕ memiliki intensitas pantulan sebesar 14,21% pada panjang gelombang 1497,63 nm. Pada panjang gelombang yang sama, ukuran butir 2,2 ϕ memiliki intensitas pantulan sebesar 27,03 %. Nilai tersebut merupakan nilai pantulan tertinggi yang dapat dicatat oleh sensor EO-1 Hyperion apabila dibandingkan dengan rerata ukuran butir yang lain. Rerata ukuran butir 1,59 ϕ hanya memantulkan sebesar 18,69 % pada panjang gelombang 1305,96 nm sedangkan rerata ukuran butir 0,66 ϕ sebesar 16,17 % pada panjang gelombang 823,65 nm.

Berdasarkan hasil ini dapat dilihat bahwa rerata ukuran butir material piroklastik berbanding terbalik dengan intensitas pantulan yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran material piroklastik maka akan semakin tinggi pula intensitas pantulan yang dihasilkan demikian pula sebaliknya (Gambar 3-1).

3.5 Pemetaan Sebaran Material Piroklastik

Pemetaan sebaran material piroklastik dilakukan menggunakan hasil PPI sebagai input klasifikasi SAM. PPI dibagi menjadi dua, sebagian digunakan untuk membuat peta sedangkan sebagian yang lain digunakan untuk melakukan uji akurasi. Perbandingan keduanya adalah 40:60.

Overall Accuracy (OA) menunjukkan angka 86,83% dengan Indeks Kappa sebesar 0,31. Hal ini menandakan akurasi pemetaan sudah baik akan tetapi konsistensinya masih perlu ditingkatkan.



Gambar 3-2: Peta sebaran material piroklastik Gunung Kelud

Secara visual, dapat dievaluasi bahwa material piroklastik hasil erupsi Kelud terdistribusi di sekeliling Gunungapi Kelud tanpa memperhatikan aspek morfologi. Rerata ukuran butir material piroklastik sebesar 2ϕ tidak selalu berada pada morfologi puncak dan kawah, demikian pula dengan ukuran butir yang lain.

Distribusi material piroklastik dapat juga dipengaruhi oleh hembusan angin namun tidak diteliti pada penelitian ini. Pengaruh angin tersebut membuat sebaran material piroklastik terkonsentrasi pada arah Barat – Barat Laut – Utara dari Gunung Kelud (Gambar 3-2).

4 KESIMPULAN

Material piroklastik yang ditemukan pada wilayah penelitian berukuran $0 - 2\phi$. Setiap ukuran butir menunjukkan pantulan spektral yang optimal pada beberapa panjang gelombang seperti 823,65 nm hingga 1305,96 nm untuk ukuran butir $0,66\phi - 1,59\phi$ pada morfologi kaki dan dataran kemudian panjang gelombang 1497,63 nm untuk ukuran butir $2,2\phi - 2,99\phi$ pada morfologi tubuh gunungapi serta puncak dan kawah. Semakin kecil ukuran material piroklastik, semakin tinggi pula intensitas pantulan yang dihasilkan demikian juga sebaliknya.

Akurasi identifikasi sudah cukup baik yaitu $>80\%$ dengan nilai Kappa sebesar 0,31. Sebaran material piroklastik terkonsentrasi pada sisi Barat, Barat Laut dan Utara dari Gunung Kelud.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari thesis penulis. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada para pembimbing yakni Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Danang Sri Hadmoko, S.Si., M.Sc. yang telah memberi arahan selama penulis menempuh perkuliahan.

Penulis juga menyampaikan apresiasi serta berterima kasih kepada seluruh

mitra bestari dan editor yang telah memberi masukan serta membuat tulisan ini layak diterbitkan pada jurnal yang bereputasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Geologi. (2014). Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi - Badan Geologi. 7 April. Retrieved from <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/538-gkelud?start=2>
- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). Gradstat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1237–1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital* (I). Yogyakarta: Andi Offset.
- Datt, B., & Jupp, D. (2004). HYPERION DATA PROCESSING WORKSHOP: Hands-on processing instructions. *CSIRO Office of Space Science & Applications Earth Observation Centre*, 1–49.
- Davies, A. G., Chien, S., Baker, V., Doggett, T., Dohm, J., Greeley, R., ... Sherwood, R. (2006). Monitoring active volcanism with the Autonomous Sciencecraft Experiment on EO-1. *Remote Sensing of Environment*, 101(4), 427–446. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2005.08.007>
- Dávila-Hernández, N., Lira, J., Capra-Pedol, L., & Zucca, F. (2011). A normalized difference lahar index based on Terra/Aster and Spot 5 images: An application at Colima Volcano, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(3), 630–644.
- De Bélizal, É., Lavigne, F., Gaillard, J. C., Grancher, D., Pratomo, I., & Komorowski, J. C. (2012). The 2007 eruption of Kelut volcano (East Java, Indonesia): Phenomenology, crisis management and social response. *Geomorphology*, 136(1), 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.015>
- De Bélizal, E., Lavigne, F., Hadmoko, D. S., Degeai, J. P., Dipayana, G. A., Mutaqin,

- B. W., Aisyah, N. (2013). Rain-triggered lahars following the 2010 eruption of Merapi volcano, Indonesia: A major risk. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 261, 330–347. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.01.010>
- Eismann, M. (2014). *Hyperspectral Remote Sensing. PM210-SPIE (2012)*.
- Folk, R. L. (1974). Petrologie of sedimentary rocks. *Hemphll Publishing Company, Austin*, 170. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Khasanah, A. N. (2013). *Analisis Hubungan Persentase Kandungan Lempung dengan Nilai dan Pola Respon Spektral Objek Tanah Pada Citra Hyperion Sebagian Daerah D. I. Yogyakarta*. Universitas Gadjah Mada.
- Lantz, N. J. (2012). *Detection and Mapping of Phragmites australis using High Resolution Multispectral and Hyperspectral Satellite Imagery by*. (December).
- Lillesand, Thomas M. Kiefer, Ralph W., Chipman, J. W. (2014). Remote Sensing and Image Interpretation. In *John Wiley and Sons*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sulaksana, N., Sukiyah, E., Sudradjat, A., & Syafri, I. (2014). The Crater Configuration of Kelud Volcano, East Java, Indonesia after the 2014 Eruption. *International Journal*, 3(3), 419–422.
- Sumintadiredja, P. (2005). *Catatan Kuliah: Vulkanologi dan Geothermal*. Bandung: ITB Bandung.