

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL GEOMATIKA

PENGELOLAAN SUMBERDAYA DAN PENANGGULANGAN BENCANA ALAM

PELUANG & TANTANGAN INFORMASI GEOSPASIAL

Editor :

Prof Dr. Fahmi Amhar

Prof Aris Poniman

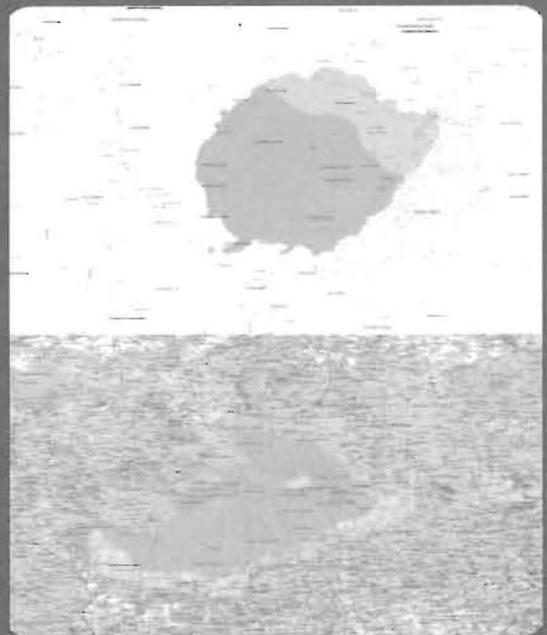
Dr. Dewayany Sutrisno

Dr. Sobar Sutisna

Dr. Sri Handoyo

Dr. Ibnu Sofian

Dr. Mulyanto Darmawan



**Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional
(BAKOSURTANAL)**

2011

IDENTIFIKASI ALIRAN LAVA MENGGUNAKAN METODE HAMBURAN BALIK RADAR POLARIMETRI BAND L

Luluk D.W. Handayani¹, Bambang H. Trisasongko^{1,2}, Boedi Tjahjono^{1,3}

*1*Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Meranti, Bogor 16680.

Email: handayani.luluk@gmail.com

*2*P4W/CRESTPENT, Institut Pertanian Bogor, Jalan Pajajaran, Bogor 16143.

*3*PPLH, Institut Pertanian Bogor, Jalan Lingkar Akademik, Bogor 16680.

ABSTRAK

Aliran lava merupakan salah satu produk letusan gunungapi. Setiap aliran lava memiliki karakteristik yang berbeda baik dari aspek usia maupun morfologi yang berpengaruh terhadap pemanfaatannya sebagai sumberdaya alam. Sebagian besar upaya identifikasi aliran lava tersebut dilakukan di lapangan atau memanfaatkan data penginderaan jauh terutama data multispektral atau hiperspektral. Namun demikian, liputan awan di wilayah tropik seringkali menjadi kendala. Untuk itu dibutuhkan telaah melalui sensor penginderaan jauh yang tidak dipengaruhi oleh tutupan awan, sehingga SAR menjadi salah satu alternatif penggunaan untuk analisis. Dengan mulai tersedianya data SAR polarisasi penuh, maka diharapkan data tersebut dapat ditelaah untuk identifikasi berbagai aliran lava di wilayah tropik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi sinyal yang efisien untuk pengidentifikasian tipe aliran lava vulkanik dan melakukan pencirian (signature) tiap obyek yang dikaitkan dengan morfologinya melalui pendekatan hamburan balik (backscatters) data PALSAR. Analisis dilakukan dengan mengamati karakteristik polarisasi hamburan balik pada tiap jenis lava dengan menggunakan 3 polarisasi linear, yaitu HH, VV dan VH. Lokasi penelitian adalah Gunung Guntur, Kabupaten Garut yang memiliki aliran lava basaltik terbaru. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi terbaik adalah kombinasi VH-VV sehingga kombinasi ini sangat disarankan jika data SAR polarisasi yang tersedia hanya pada tingkat polarisasi ganda (dual polarization). Uji lanjutan secara kuantitatif juga menunjukkan bahwa data SAR polarimetri cukup bermanfaat dalam memandu pemetaan aliran lava.

Kata Kunci : Aliran lava, Hamburan Balik, SAR Polarimetri, Gunung Guntur.

ABSTRACT

Lava is one of main volcanic properties exposed during the eruption. Lava flows have different characteristics on their age and morphology which affect their use as a natural resource. Mostly lava flows are identified in situ or using the remote sensing especially multispectral and hyperspectral data. However, the cloud-cover in tropical areas has been persistent. Therefore, a study by means of SAR sensor is required as a complementary tool to previous schemes. With the availability of fully polarized SAR dataset, it is expected that the data could be assessed to identify various lava flows in tropical area. The research aims to study combinations of SAR signals as an aid for identifying the type of volcanic lava flows. In addition, we are interested to assess polarimetric signatures of each object associated with their morphology using PALSAR data. Backscattering coefficients were observed on each lava flow using 3 linear polarizations, HH, VV and VH. The research was located in Mt. Guntur, Garut Regency, which has new basaltic lava flows. The results suggest that combination of VH-VV was suitable to discriminate available lava flows. Therefore, this combination is highly recommended if only dual polarization data are available. Further quantitative examination shows that the SAR Polarimetry is quite useful as a guide for lava flows mapping.

Keywords : Lava Flows, Backscatters, SAR Polarimetry, Mt. Guntur.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara yang dilalui oleh jalur gunungapi aktif (*Ring of Fire*). Hal ini menyebabkan Indonesia memiliki lebih dari 400 gunung berapi dan 130 diantaranya masuk ke dalam kategori gunungapi aktif. Sebagian besar dari gunungapi aktif tersebut berada di pulau Sumatera dan Jawa. Letusan gunungapi merupakan suatu gejala alam yang sangat berbahaya bagi semua makhluk hidup yang berada di sekitar gunungapi. Walaupun demikian, gunungapi banyak memberikan manfaat bagi manusia seperti abu vulkanik yang dapat meningkatkan kesuburan tanah atau gunungapi sebagai lokasi tujuan wisata alam. Material yang dikeluarkan gunungapi pada saat terjadi letusan adalah piroklastika dan lava. Material lava merupakan salah satu bentuk sumberdaya alam yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan galian.

Pengidentifikasian dan pemantauan aliran lava lebih banyak dilakukan di lapangan. Hal tersebut menjadi tidak efektif ketika diterapkan di Indonesia karena persebaran gunungapi yang merata hampir di seluruh wilayah menyebabkan kegiatan pemantauan lapang memerlukan biaya dan waktu yang banyak. Oleh karena itu, sangat dibutuhkan pemanfaatan teknologi geospasial, yaitu penginderaan jauh. Salah satu penelitian menunjukkan bahwa pendekatan melalui penginderaan jauh cukup baik dalam hal keefektifan biaya untuk pemetaan terhadap sumber dan persebaran aliran vulkanik.

Pemanfaatan data penginderaan jauh saat ini telah berkembang pesat baik penggunaan data *hyperspectral* maupun

multispectral. Namun, dikarenakan Indonesia merupakan daerah tropik maka tutupan awan seringkali menjadi kendala. Gangguan awan (dan bayangannya) pada umumnya tidak dapat diperbaiki, pada analisis data penginderaan jauh gangguan ini direpresentasikan sebagai data hilang (*missing data*) yang memerlukan proses *masking* dalam keseluruhan analisis (Tjahjono *et al.* 2009). Oleh karena itu, pemanfaatan sensor aktif radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*) polarimetri dapat dijadikan alternatif analisis, salah satunya adalah untuk pengidentifikasian aliran lava. Telaah pendahulu mengenai pengidentifikasian aliran lava dengan memanfaatkan data SAR diantaranya identifikasi tekstur aliran lava dengan menggunakan *Shuttle Imaging Radar SIR-C* (Rodriguez *et al.* 2001). Menurut Rodriguez *et al.* (2001) data SAR radar dapat digunakan untuk menjelaskan kekasaran permukaan, tekstur, orientasi, dan sifat dielektrik dari hamburan permukaan vulkanik.

Kekasaran permukaan lava dapat menunjukkan perbedaan tipe aliran lava termasuk pendugaan umur dari lava tersebut. Hal ini dapat diketahui dari nilai hamburan balik (*backscatters*) pada berbagai polarisasi yang dihasilkan.

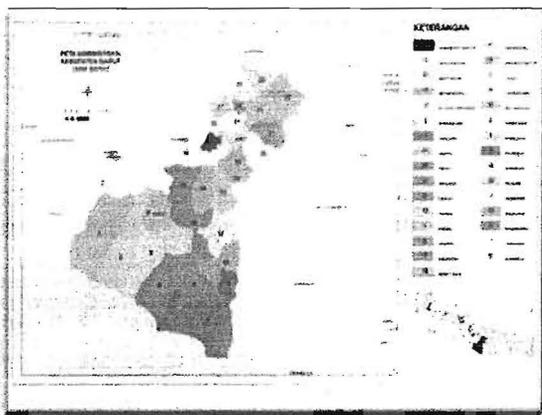
Penelurusan literatur menunjukkan bahwa telaah mengenai aliran lava dengan menggunakan SAR polarimetri di wilayah tropik masih sangat minim, untuk itu makalah ini mengetengahkan pemanfaatan data SAR polarimetri dengan band L untuk mengidentifikasi aliran lava.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi sinyal yang efisien dalam identifikasi tipe aliran lava dari Gunung

Guntur dan melakukan penelusuran ciri (*signature*) tiap obyek dengan memanfaatkan data PALSAR (*Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar*). Selain itu, penelitian ini juga ditujukan untuk mengkaji Pendekatan analisis data Hamburan Balik (*backscatters*) radar polarimetri band L yang dipadukan dengan teknik analisis pohon keputusan (*Decision Tree*).

BAHAN DAN METODE

Lokasi penelitian meliputi wilayah Gunung Guntur yang secara administratif berada di wilayah Desa Sirnajaya, Kecamatan Tarogong, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat dengan luas ± 1.060 ha. Gunung Guntur merupakan gunungapi tipe strato yang terletak di antara $07^{\circ}11'55,2767''$ Lintang Selatan dan $107^{\circ}51'39,1195''$ Bujur Timur. Letusan pertama gunungapi ini terjadi pada tahun 1690 dan letusan terakhir tercatat pada tahun 1847 (Kusumadinata, 1979)

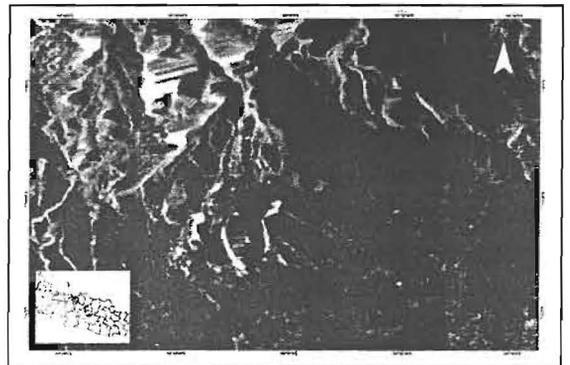


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data SAR polarimetri Gunung Guntur berasal dari citra PALSAR yang diakuisisi pada tahun 2009 dengan band L (panjang gelombang 24,0 cm), inklinasi : $8,0-30,0^{\circ}$. Data yang diperoleh merupakan data dengan polarisasi penuh dan pada penelitian ini digunakan polarisasi linier,

yaitu HH, HV, VH, dan VV. Mengingat sistem pencitraan yang digunakan adalah monostatik maka berlaku teori *reciprocity* sehingga $VH = HV$.

Pengolahan awal citra dilakukan dengan koreksi citra berdasarkan terrain (*geocoding*) data. Data terrain yang digunakan adalah data DEM dari SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) dengan menggunakan sistem proyeksi UTM pada zona 48 S. Citra PALSAR ditunjukkan pada Gambar 2.

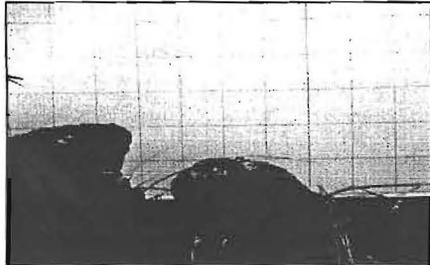


Gambar 2. Citra PALSAR dengan polarisasi HH, HV, dan VV

Untuk pembandingan dan penunjuk survey lapangan, penelitian ini juga menggunakan citra IKONOS yang memiliki resolusi spasial tinggi diunduh dari perangkat lunak Google Earth untuk memetakan lava. Analisis dilakukan pada tiga jenis hamburan balik (*backscatters*) citra PALSAR, yaitu HH (dikirim horizontal dan diterima horizontal), VV (dikirim vertikal dan diterima vertikal), dan HV (dikirim horizontal dan diterima vertikal).

Selain pengolahan citra, dilakukan pula pengecekan lapang dengan penentuan titik lokasi piksel (x,y) untuk menentukan daerah kajian penelitian (*Region of Interest*) dengan menggunakan GPS. Selain pencatatan lokasi titik dilakukan juga pengamatan kekasaran permukaan

sebagai data referensi pada tiap lokasi titik sampel. Pengamatan kekasaran permukaan ditunjukkan pada Gambar 3.a dan gambar kondisi aliran lava ditunjukkan pada Gambar 3.b



(a)



(b)

Gambar 3.(a) Pengamatan kekasaran permukaan dan (b) kondisi aliran lava

Unit analisis utama pada penelitian ini adalah aliran lava. Dari data sekunder dapat diidentifikasi tiga aliran lava (*lava flow*) yang dikaitkan dengan umur dari lava tersebut. Pada unit yang telah ditetapkan, dilakukan pengambilan data sampling berupa data pembangun (*training set*) sebanyak 100 piksel dan data pengujian akurasi sebanyak 75 piksel pada tiap kelas aliran lava.

Sebelum melakukan klasifikasi numerik perlu dilakukan pengkajian keterpisahan spektral. Keterpisahan spektral pada berbagai sensor merupakan isu yang penting dikaji sebelum metode klasifikasi diterapkan (Panuju *et al.* 2010). Metode pengkajian keterpisahan spektral dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Transformed Divergence* dengan persamaan sebagai berikut :

$$TD_{ij} = 2[1 - \exp(-D_{ij}/8)] \dots \dots \dots (2-1)$$

Dimana TD_{ij} = parameter TD dan D_{ij} adalah parameter yang diperoleh dari persamaan berikut :

$$D_{ij} = 0,5[(C_i - C_j)(C_{i-1} - C_{j-1})] + 0,5tr[(C_{i-1} - C_{j-1})(\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \dots \dots \dots (2-2)$$

Parameter μ_i adalah nilai rata-rata vektor kelas ke-I sedangkan C_i nilai matriks koragam kelas ke-I, sedangkan tr menotasikan fungsi teras dan T menunjukkan fungsi transposisi. Dari persamaan TD di atas, maka dapat diketahui bahwa nilai TD berkisar antara 0 sampai dengan 2. Nilai maksimum diperoleh pada saat nilai α sama dengan tak hingga.

Selain menggunakan metode di atas, dilakukan pengkajian lain menggunakan keterpisahan diagram pencar dan keterpisahan statistik. Keterpisahan diagram pencar (*scatterplot*) ditunjukkan dalam tiga kombinasi hamburan balik (*backscatters*) yaitu, HH-VV, HV-HH, dan VV-HV, sedangkan keterpisahan statistik ditampilkan dalam bentuk nilai rata-rata dan standar deviasi.

Klasifikasi aliran lava merupakan salah satu kegiatan pembangunan basis data spasial yang dapat dikaji menggunakan metode klasifikasi numerik. Metode klasifikasi telah banyak digunakan baik melalui pendekatan analisis klasifikasi terbimbing maupun tak terbimbing. Dalam penelitian ini, digunakan algoritma klasifikasi terbimbing pohon keputusan (*decision tree*) dengan pendekatan CRUISE dan QUEST. Telaah dengan menggunakan pendekatan algoritma ini telah digunakan sebelumnya untuk

pemantauan lahan sawah (Tjahjono *et al.*, 2009; Panuju dan Trisasongko, 2008) CRUISE (*Classification Rule with Unbiased Interaction Selection and Estimation*) diperkenalkan oleh Kim dan Loh (2001). Algoritma ini merupakan variasi dari pohon keputusan yang dapat menggunakan *unbiased multiway splits* dalam proses pembentukan keputusannya. Selain itu digunakan pendekatan algoritma QUEST (*Quick, Unbiased, Efficient Statistical Trees*), algoritma yang diperkenalkan oleh Loh dan Shih (1997). QUEST merupakan algoritma pemisahan (*split*) biner pohon keputusan yang dapat digunakan untuk tujuan klasifikasi. Pada algoritma ini, proses pemisahan dapat dilakukan pada peubah tunggal (*univariate*) atau berdasarkan kombinasi linear. Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan akurasi dengan membandingkan kinerja metode klasifikasi dengan analisis matriks akurasi. Selain itu dilakukan klasifikasi terbimbing lainnya, yaitu klasifikasi

Maximum Likelihood untuk mengetahui perbandingan tingkat akurasi data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keterpisahan Kelas

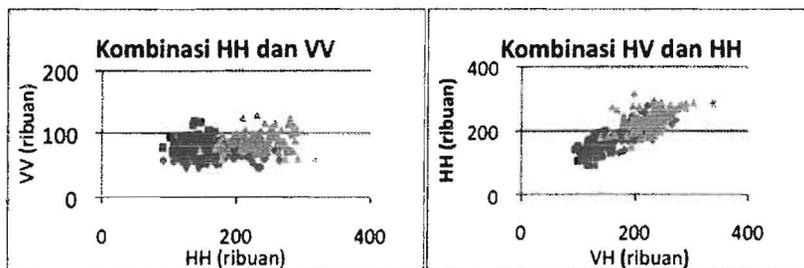
Keterpisahan spektral atau kelas dapat dieksplorasi secara statistik yang diperlihatkan oleh nilai rata-rata dan nilai simpangan baku. Tabel 1 berikut menyajikan nilai statistika deskriptif dari berbagai jenis aliran lava.

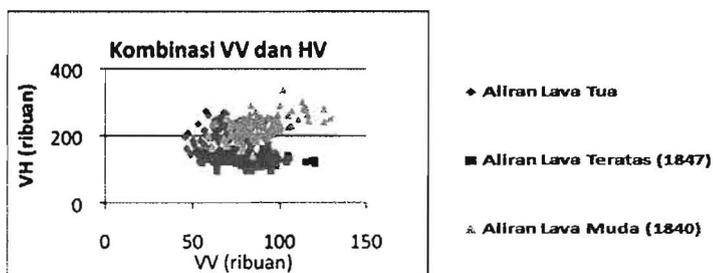
Nilai rata-rata untuk kelas Aliran lava muda pada hamburan balik (*backscatters*) HH, VV dan HV memiliki nilai rata-rata yang tinggi dibandingkan kelas lainnya. Hal ini menjadi petunjuk bahwa kelas ini dapat dipisahkan dengan cukup baik. Namun demikian, kedekatan nilai dengan aliran lava tua pada polarisasi HV dapat menghambat proses pemisahan kelas dengan klasifikasi numerik.

Untuk memperkuat dugaan tersebut maka dilakukan visualisasi sebaran titik contoh pada diagram pencar untuk masing-masing kombinasi data. Hasil visualisasi tersebut ditampilkan pada diagram berikut.

Tabel 1. Nilai rata-rata dan standar deviasi tiap aliran lava

Kelas	HH		VV		HV	
	Rataan	Simpangan Baku	Rataan	Simpangan Baku	Rataan	Simpangan Baku
Aliran lava teratas	145132,5	20913,0	80935,0	13903,4	130779,6	15394,1
Aliran lava muda	231231,3	33161,3	87476,3	14221,9	224860,2	32469,8
Aliran lava tua	199853,1	38130,7	67946,9	10780,0	202478,4	33407,0





Gambar 3. Diagram pencar dari kombinasi data

Pada diagram pencar terlihat bahwa ketiga kelas aliran lava, yaitu Aliran lava tua, Aliran lava teratas dan Aliran lava muda terpisah cukup baik pada ketiga kombinasi hamburan balik (*backscatters*). Namun demikian, dari ketiga diagram pencar tersebut terlihat bahwa keterpisahan yang paling baik adalah pada kombinasi VV dan VH.

Keterpisahan spektral selain dapat ditunjukkan dengan keterpisahan diagram pencar dan keterpisahan statistik, dapat pula ditunjukkan dengan metode *Transformed Divergence* (TD) yang memiliki tolak ukur kuantitatif. Data jarak *Transformed Divergence* (TD) antara 3 kelompok kelas aliran lava yang ditetapkan sebagai data *training* ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Ukuran *Transformed Divergence* (TD*) menggunakan data *training*

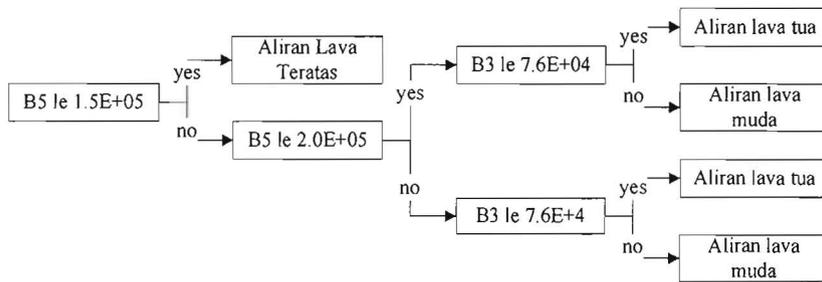
Kelas	Aliran lava tua	Aliran lava teratas	Aliran lava muda
Aliran lava teratas	149.962.595	-	171.045.081
Aliran lava muda	0.68527990	17.104.581	-
Aliran lava tua	-	149.962.595	0.68527990

Dari data di atas terlihat bahwa kelas Aliran lava tua dan Aliran lava teratas

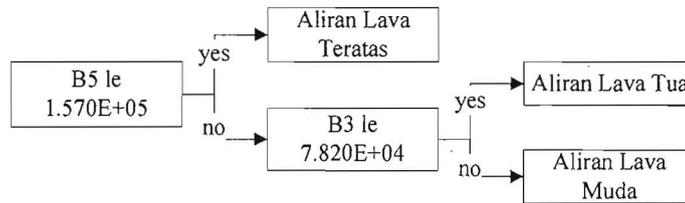
terpisah cukup baik (nilai mendekati 2), begitu juga kelas Aliran lava teratas dan Aliran lava muda, sedangkan kelas Aliran lava tua dan Aliran lava muda tidak terpisah secara baik (nilai mendekati 0). Hal ini disebabkan umur yang mempengaruhi tekstur permukaan aliran lava. Tekstur permukaan lava sangat berkaitan dengan kekasaran permukaan lava yang mempengaruhi besarnya nilai hamburan balik. Aliran lava menunjukkan perbedaan kekasaran permukaan yang signifikan (skala cm hingga meter) baik dalam aliran individual maupun sepanjang aliran tunggal karena adanya kontak dengan atmosfer. Permukaan lava membentuk lapisan tanah dengan cepat dan oleh karena itu menjadi tempat alami tumbuhnya tanaman (Rodriguez *et al.* 2001)

Klasifikasi

Analisis data selanjutnya dilakukan dengan mengkonstruksi pohon keputusan melalui algoritma CRUISE dan QUEST. Hasil konstruksi disajikan pada Gambar 4.



(a)

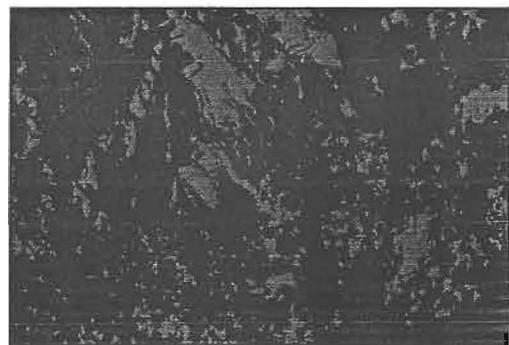


(b)

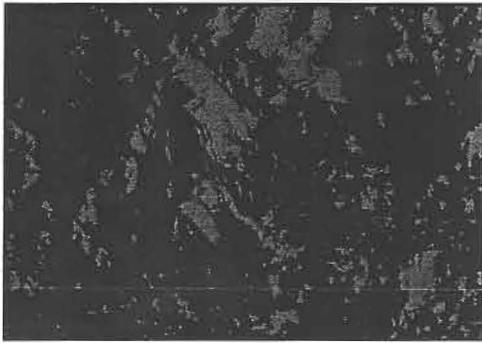
Gambar 4. Pohon Keputusan pada algoritma (a) CRUISE dan (b) QUEST

Berdasarkan gambar di atas, dapat ditunjukkan bahwa pohon keputusan yang diturunkan dari pendekatan algoritma tersebut sangat sederhana. Pendekatan dengan algoritma QUEST menghasilkan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan algoritma CRUISE, dimana algoritma QUEST menghasilkan 3 cabang sedangkan algoritma CRUISE menghasilkan 4 cabang. Kesederhanaan struktur tersebut pada segi komputasi berdampak positif dengan tingginya kecepatan pemrosesan. Hal ini tentu saja sangat penting bagi pengolahan data pada wilayah yang luas (Tjahjono *et al.* 2009). Dari konstruksi di atas terlihat bahwa baik algoritma CRUISE maupun QUEST pada semua komponen cabang menggunakan data VV dan VH. Hal ini menunjukkan bahwa hamburan balik tersebut cukup mampu berperan sebagai diskriminator untuk mengidentifikasi aliran lava. Hal ini juga ditunjukkan dari hasil analisis keterpisahan diagram pencar.

Kenampakan visual hasil klasifikasi yang diperoleh dari kedua pendekatan tersebut hampir sama. Untuk memperoleh kesimpulan kuantitatif algoritma yang menghasilkan akurasi lebih tinggi, maka diperlukan analisis akurasi. Dengan memanfaatkan data pengujian (*testing*), maka bias dalam menarik kesimpulan dapat diminimalkan. Hasil akurasi disajikan pada Tabel 3 dan 4 sedangkan klasifikasi pembandingan disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 5.a dan 5.b sebagai hasil klasifikasi QUEST dan CRUISE.



(a)



(b)

Gambar 5. Hasil klasifikasi (a) CRUISE dan (b) QUEST

Secara umum, kelas aliran lava dapat diidentifikasi dengan baik pada tingkat kepercayaan yang cukup tinggi baik dengan algoritma CRUISE maupun QUEST. Kelas aliran lava teratas dapat diklasifikasikan dengan baik yang ditunjukkan dengan tingginya tingkat pemisahan aliran lava pada kedua algoritma, yaitu 96 % pada algoritma CRUISE dan 97,3 % pada algoritma QUEST. Hal ini dikarenakan aliran lava berumur paling muda sehingga masih mempunyai morfologi permukaan lava yang belum banyak mengalami perubahan. Lava ini bersifat basaltik dan merupakan hasil letusan tahun 1847 sebagai letusan terakhir gunungapi tersebut (Surmayadi *et al.* 1998).

Dapat diindikasikan bahwa dari klasifikasi pohon keputusan (*decision tree*) baik dari QUEST, CRUISE, dan klasifikasi pembandingan *Maximum Likelihood* didapatkan pengetahuan bahwa aliran lava dapat diidentifikasi dengan menggunakan kombinasi *Backscatter* yang terbaik HV dan VV sehingga untuk skala penelitian ini, proses analisis data dengan menggunakan polarisasi ganda (*dual-polarization*) saja telah cukup memadai.

KESIMPULAN

SAR polarimetri band L merupakan salah satu teknik analisis data radar yang efektif dalam penginderaan jauh untuk dimanfaatkan pada wilayah tropis. Pemanfaatan metode hamburan balik (*backscatters*) yang dipadukan menggunakan teknik klasifikasi pohon keputusan (*decision tree*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi aliran lava.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tiga kelas aliran lava, yaitu aliran lava teratas, aliran lava muda, dan aliran lava tua terpisah secara baik yang ditunjukkan oleh hasil analisis keterpisahan statistik. Dari keterpisahan diagram pencar dan analisis jarak *Transformed Divergence* menunjukkan bahwa kombinasi *backscatters* VV-HV merupakan kombinasi terbaik yang dapat digunakan untuk memisahkan kelas aliran lava. Hal ini juga diperkuat dari hasil klasifikasi menggunakan analisis pohon keputusan. Kedua algoritma pohon keputusan yaitu QUEST dan CRUISE menghasilkan akurasi yang cukup tinggi yaitu lebih dari 80% dengan kelas aliran lava teratas yang memiliki tingkat pemisahan yang tinggi.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa kombinasi VV-HV dapat digunakan untuk pemetaan aliran lava. Oleh karena itu penelitian lanjutan dengan menggunakan teknik klasifikasi lainnya sangat disarankan agar diperoleh kesimpulan yang lebih terpercaya.

Tabel 3. Akurasi klasifikasi CRUISE

Data Lapangan (%)				Akurasi Total	Kappa Coeficient
Kelas	Aliran lava tua	Aliran lava teratas	Aliran lava muda		
Aliran lava teratas	5.33	97.33	1.33	84.00%	0.76
Aliran lava muda	17.133	2.67	77.33		
Aliran lava tua	77.33	0	21.33		

Tabel 4. Akurasi klasifikasi QUEST

Data Lapangan (%)				Akurasi Total	Kappa Coeficient
Kelas	Aliran lava tua	Aliran lava teratas	Aliran lava muda		
Aliran lava teratas	5.33	96.00	1.33	82.22%	0.73
Aliran lava muda	16.00	2.67	72.00		
Aliran lava tua	78.67	1.33	26.67		

Tabel 5. Akurasi klasifikasi pembandingan Maximum Likelihood

Data Lapangan (%)				Akurasi Total	Kappa Coeficient
Kelas	Aliran lava tua	Aliran lava teratas	Aliran lava muda		
Aliran lava teratas	4.00	97.33	1.33	81.77%	0.72
Aliran lava muda	22.67	1.33	74.67		
Aliran lava tua	73.33	1.33	24.00		

DAFTAR PUSTAKA

Kim H., Loh W-Y. 2001. Classification trees with unbiased multiway split. *Journal of American Statistical Association* 96, 598-604.

Kusumadinata, K. 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi. Bandung.

Loh W-Y., Shih Y-S. 1997. Split Selection Methods for Classification Trees. *Statistica Sinica* 7, 815-840

Panuju DR., Iman LS., Trisasongko BH., Barus B., Shiddiq D. 2010. Simulasi Data Losat Untuk Pemantauan Pesisir. Satelit Mikro untuk Mitigasi Bencana dan ketahanan Pangan. Penerbit IPB Press

Panuju DR., Trisasongko B. 2008. The use of statistical tree method on rice field

mapping. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 14(2), 75-84

Rodriguez KM., Weissel JK dan Menke WH., 2001. Lava flow textural trends using SAR : The Virunga Volcanic Chain, East Africa. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium* 5,2421-2423

Tjahjono B., Syafril., AHA., Panuju DR., Kasno A., Trisasongko BH., Heidina F. 2009. Pemantauan Lahan Sawah Menggunakan Citra Alos AVNIR-2. *Jurnal Ilmiah Geomatika*. 15(2) : 1-8

Surmayadi M, Kartadinata MN, Budianto A, Sasongko Y. 1998. *Peta Geologi Gunungapi Guntur, Jawa Barat, skala 1:25.000*. Direktorat Vulkanologi Indonesia