

**PEMANFAATAN CITRA Pi-SAR2 UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN
ENDAPAN PIROKLASTIK HASIL ERUPSI GUNUNGAPI GAMALAMA
KOTA TERNATE
(UTILIZATION OF Pi-SAR2 IMAGES FOR IDENTIFICATION THE
PYROCLASTIC DEPOSITS FROM GAMALAMA VOLCANO ERUPTION
TERNATE CITY)**

Suwarsono^{*)}, Dipo Yudhatama^{*)}, Bambang Trisakti^{*)}, Katmoko Ari Sambodo^{)}**

^{*)} Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan

^{**)} Peneliti Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lapan

e-mail: suwarsono@lapan.go.id/landsono@yahoo.com

Diterima 5 Februari 2013; Disetujui 30 April 2013

ABSTRACT

This research aims to identify the distribution of pyroclastic deposits from the eruption volcano by using Pi-SAR2 imagery. The object of research is Gamalama Volcano, located in the city of Ternate in North Maluku Province. Research methods include radiometric calibration Pi-SAR2 to get the value of backscatter intensity sigma naught, calculation of statistical values (mean, standard of deviation and coefficient of correlation between bands) backscatter intensity of sigma naught among pyroclastic deposits and other surface objects, as well as the separation distribution of pyroclastic deposits using thresholding methods. This research concludes that the Pi-SAR2 imagery can be used to identify the distribution of volcanic pyroclastic deposits from the eruption. Concurrent use of polarization HH, VV and HV will give better results than using a single polarization HH and VV. This research suggests further research to be done by applying the method of verification is supported by the use of field data (ground check).

Key words: *Pi-SAR2, Identification, Pyroclastic deposits, Gamalama Volcano*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran material endapan piroklastik hasil erupsi gunungapi dengan memanfaatkan citra radar Pi-SAR2. Obyek gunungapi yang dijadikan lokasi penelitian adalah Gunungapi Gamalama yang berada di wilayah Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. Metode penelitian mencakup kalibrasi radiometrik data Pi-SAR2 untuk mendapatkan nilai intensitas hamburan balik (*backscatter*) *sigma naught*, perhitungan nilai-nilai statistik (rerata, standar deviasi dan koefisien korelasi antar *band*) *sigma naught* endapan piroklastik dan obyek-obyek permukaan lainnya, serta pemisahan sebaran endapan piroklastik menggunakan metode pengambangan (*thresholding*). Penelitian ini menyimpulkan bahwa citra Pi-SAR2 dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi sebaran endapan piroklastik hasil erupsi gunungapi. Penggunaan secara bersamaan polarisasi HH, VV dan HV akan memberikan hasil lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *single* polarisasi HH maupun VV. Penelitian ini menyarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menerapkan metode verifikasi yang didukung dengan penggunaan data-data lapangan (*ground check*).

Kata kunci: *Pi-SAR2, Identifikasi, Endapan piroklastik, Gunungapi Gamalama*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi geologis wilayah Indonesia yang berada di zona subduksi membawa implikasi akan munculnya ancaman bahaya erupsi gunungapi. Berdasarkan data dari Direktorat Vulkanologi (sekarang Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi), di Indonesia terdapat sekitar 129 gunungapi aktif yang berpotensi untuk mengalami erupsi.

Ancaman bahaya dari erupsi gunungapi berasal dari material yang dilepaskan dari kepundan, yaitu lava pijar maupun semburan piroklastik. Selain itu, sering muncul ancaman susulan berupa banjir lahar dingin yang juga sering menimbulkan bencana karena mampu meluluhlantahkan obyek-obyek yang dilaluinya seperti vegetasi, perumahan penduduk, infrastruktur, dan lahan budidaya pertanian.

Upaya mitigasi perlu dilakukan untuk meminimalisir dampak bencana yang disebabkan oleh peristiwa erupsi gunungapi tersebut. Penekanan penelitian ini lebih pada dampak bencana yang akan terjadi pasca kejadian erupsi, yaitu bencana yang disebabkan oleh banjir lahar dingin. Untuk memprediksi sebaran lahar dingin yang akan terjadi, maka perlu diketahui posisi sebaran material hasil erupsi yang sebagian besar umumnya mengendap pada wilayah sekitar puncak dan lereng-lereng atas.

Data citra penginderaan jauh sangat dibutuhkan dalam mengidentifikasi sebaran material endapan tersebut. Namun, perekaman dengan menggunakan citra jenis optis seperti Landsat, SPOT, dan ASTER untuk wilayah gunungapi banyak terkendala oleh tutupan kabut dan awan. Apalagi di wilayah tersebut banyak dijumpai fenomena awan orografis, sehingga akan menambah akumulasi awan pada bagian lereng dan puncak gunung. Sehingga akan sangat sulit untuk mendapatkan citra satelit optis wilayah gunungapi bagian puncak dan lereng atas yang benar-benar bebas awan.

Untuk mengatasi permasalahan ini, salah satu solusinya adalah menggunakan citra jenis radar yang memiliki kemampuan tembus awan. Dari sisi konseptual, semakin besar panjang gelombang, maka akan semakin tinggi kemampuannya dalam menembus obyek. Dengan demikian, dari apek panjang gelombang yang dipergunakan, penggunaan panjang gelombang *L-band* akan memberikan hasil lebih baik dari kemampuannya dalam merepresentasikan obyek-obyek permukaan dibandingkan dengan penggunaan *band* dengan panjang gelombang yang lebih rendah (Ka, K, Ku, X, dan C band). Selain itu, dari sisi resolusi spasial yang dipergunakan, semakin besar resolusinya, maka akan semakin besar kemampuan citra dalam mengidentifikasi obyek.

Telah banyak penelitian terdahulu yang mengaplikasikan citra SAR untuk kegunungapian. Saepuloh et al. (2009) mengemukakan bahwa citra Radarsat-1 SAR *C-band* resolusi spasial 5,6 meter mampu dipergunakan untuk memetakan sebaran endapan piroklastik di Gunungapi Merapi. Pada gunungapi yang sama, Saepuloh et al. (2012) juga telah mengaplikasikan citra ALOS/PALSAR dan ASTER TIR untuk mengamati perubahan permukaan tanah akibat erupsi besar tahun 2010. Pada Gunungapi Merapi juga, Bignami et al. (2013) berhasil mendeteksi dan mengestimasi ketebalan dan volume endapan piroklastik dengan menggunakan SAR *interferometry* COSMO-SkyMed yang memiliki resolusi spasial 3 meter. Dengan menggunakan kombinasi beberapa jenis data (Radarsat-2, TerraSAR-X, GeoEye 1, WorldView-2 dan ASTER TIR), Pallister et al. (2012) berhasil dalam melakukan pemantauan kronologi dan tingkat ekstrusi dari erupsi Gunungapi Merapi tahun 2010. Penelitian di tempat lain, Mathews et al. (2003) mencoba memanfaatkan citra JERS-1 SAR *interferometry* untuk mengetahui penambahan tinggi endapan piroklastik di Gunungapi Unzen, Jepang.

Selain untuk deteksi, monitoring dan pemetaan endapan piroklastik, citra SAR juga sering dipakai untuk mengukur perubahan topografi wilayah gunungapi (Ebmeier et al., 2012; Tomiyama, et al., 2004).

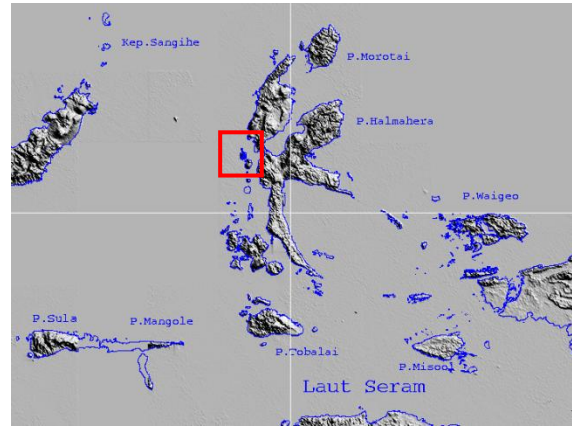
Citra Pi-SAR2 merupakan salah satu jenis citra radar udara (*Airborne Synthetic Aperture Radar*) yang dalam perekamannya menggunakan panjang gelombang L (1,27 GHz) dan memiliki resolusi spasial 2,5 meter. Selama ini belum ada penelitian yang mencoba memanfaatkan citra Pi-SAR2 untuk identifikasi endapan piroklastik gunungapi di wilayah Indonesia. Dengan kemampuannya ini maka diharapkan citra Pi-SAR2 dapat juga dipergunakan untuk mengidentifikasi obyek material endapan hasil erupsi berikut dengan persebarannya, terutama untuk gunungapi yang ada di wilayah Indonesia.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran material endapan piroklastik hasil erupsi gunungapi dengan memanfaatkan citra radar Pi-SAR2. Obyek gunungapi yang dijadikan lokasi penelitian adalah Gunungapi Gamalama yang berada di wilayah Kota Ternate Provinsi Maluku Utara. Lokasi ini dipilih karena gunungapi ini baru mengalami erupsi dan diprediksi akan memberikan ancaman bencana lahar dingin di Kota Ternate pasca kejadian erupsi. Hampir seluruh wilayah daratan Kota Ternate merupakan bagian tubuh vulkan Gunungapi Gamalama, sehingga segala aktivitas, terutama erupsi yang timbul pada gunungapi ini akan memberikan ancaman bagi kehidupan di Kota Ternate. Gambar 1-1 menunjukkan letak Gunungapi Gamalama di wilayah Provinsi Maluku Utara dari Citra DEM SRTM.

1.2 Pi-SAR2

Polarimetric and Interferometric Synthetic Aperture Radar (Pi-SAR) merupakan sensor citra radar SAR

udara yang memiliki resolusi sangat tinggi yang dipasang pada pesawat udara untuk pemanfaatan dalam mengobservasi kondisi lingkungan dengan hasil yang memuaskan (Uratsuka, 2009).



Gambar 1-1: Letak Gunungapi Gamalama di Provinsi Maluku Utara.

Tabel 1-1 memperlihatkan spesifikasi teknis Pi-SAR2 yang meliputi frekuensi yang dipergunakan, polarisasi, *incidence angle*, lebar sapuan, resolusi, akurasi ketinggian, wahana beserta ketinggiannya.

Tujuan utama dikembangkannya citra radar udara ini adalah untuk menyediakan citra mengenai kejadian bencana secara cepat seperti gempa bumi, tsunami, erupsi gunungapi, banjir dan tanah longsor. Citra Pi-SAR juga dikembangkan untuk pemanfaatan yang luas dalam observasi lingkungan, kehutanan, pertanian, hidrologi, geologi, oseanografi (Uratsuka et al., 2010).

Dalam pemantauan bencana, citra ini pernah digunakan untuk mengamati letusan Gunungapi Usu dan Miyake-jima di Jepang pada tahun 2000. Dari citra ini tampak dengan jelas bentuk dan ukuran kawah serta tebal abu vulkanik yang menutupi wilayah hutan. Citra ini juga dipergunakan secara meluas untuk pemantauan bencana pada tahun 2004. Kemudian sejak dari tahun 2006 hingga 2009 dilakukan pengembangan sistem baru dengan konsep sistem radar yang lebih praktis untuk pemantauan bencana (Uratsuka et al., 2010).

Tabel 1-1: SPESIFIKASI TEKNIS Pi-SAR

	X-band	L-band
Frequency	9.55 Ghz	1.27 Ghz
Polarization	Full Polarimetry	Full Polarimetry
Incidence angle	10-75°	20-60°
Swath width	4.3 km for full function 19.43 km for VV InSAR	19.6 km
Resolution	1.5 m	3 m
Height Accuracy	2-4 m	
Platform	GulfstreamII	
Altitude	6,000-12,000 m	

Sumber : Uratsuka et al., 2010

Pi-SAR2 yang merupakan pengembangan dari Pi-SAR memiliki fungsi polarimetrik dan interferometrik dengan resolusi spasial yang tinggi, yaitu 0,3 – 0,5 meter sepanjang lintasan (*along track*) dan 0,3 - 0,6 meter menyilang lintasan (*cross track*) pada X-band. Tabel 1-2 menunjukkan spesifikasi teknis Pi-SAR2 sebagai pengembangan dari Pi-SAR (Matsuoka et al., 2010).

Tabel 1-2: SPESIFIKASI TEKNIS Pi-SAR2 SEBAGAI PENGEMBANGAN DARI Pi-SAR

Observation mode	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 0 (optional)
Bandwidth	500 MHz	300 MHz	150 MHz	500 MHz
Method	Strip map	Strip map	Strip map	Sliding spotlight
Slant range resolution	0.3 m	0.5 m	1.0 m	0.3 m
Azimuth resolution	0.3 m (1 look)	0.6 m(2 looks)	0.6 m(2 looks)	0.5~0.3 m (2 looks)
Swath width	5~10 km	7~10 km	>10 km	4~9 km
Azimuth leight	-	-	-	3~7 km
NEσ°	< -23 dB	< -27 dB	< -30 dB	< -25 dB

*In all modes, Pi-SAR2 acquires polarimetric (HH/VV/HV/VH) and interferometric (VVs/HVs) data

* Values are estimated with the airplane altitude of 12000 m and the ground speed of 220 m/s

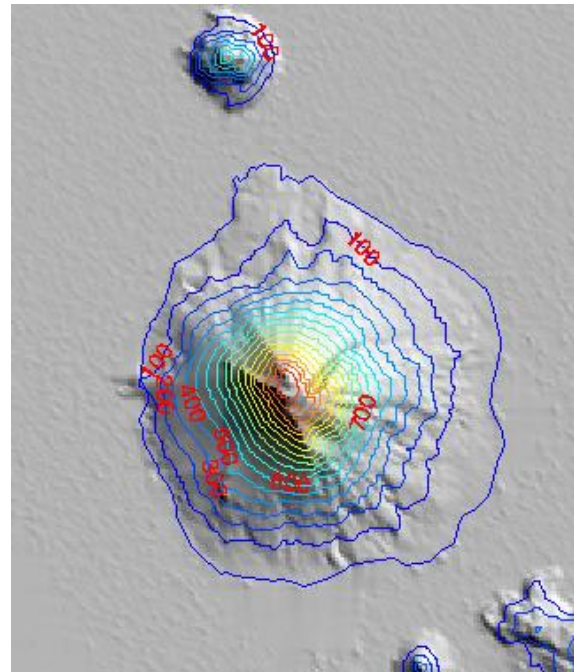
Sumber: Matsuoka et al., 2010

Berdasarkan pengalaman beberapa penelitian sebelumnya terkait pemanfaatan citra SAR di bidang ke-gunungapian serta memahami karakteristik citra Pi-SAR2, maka dapat diketahui bahwa citra ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam monitoring aktivitas erupsi gunungapi yang ada di Indonesia.

1.3 Karakteristik Letusan Gunungapi Gamalama

Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Gunungapi Gamalama merupakan gunungapi aktif yang berada di Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. Secara

administrasi, gunungapi ini berada di wilayah Kota Ternate. Ketinggian puncak Gamalama 1.715 meter dari permukaan air laut dan berada pada koordinat 0° 48' Lintang Utara dan 127° 19' 30" Bujur Timur.



Gambar 1-2: Morfologi Gunungapi Gamalama berbentuk srato (*stratovolcano*), tampak dari citra DEM-SRTM (garis bergradasi warna adalah kontur dengan interval 100 meter)

Berdasarkan Peta Geologi skala 1:250.000, Gunungapi Gamalama tersusun oleh material ekstrusif gunungapi berumur Holosen. Berdasarkan catatan sejarah, menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, gunungapi ini menunjukkan keaktifannya pada tahun 1538 dan tetap berlangsung hingga 2003 dengan interval letusan berkisar antara 1 tahun hingga 50 tahun. Karakteristik letusan pada umumnya bersifat magmatik dan berlangsung di kawah utama. Karakteristik erupsi menyamping terjadi pada tahun 1907 yang terjadi pada sisi lereng sebelah Timur dan menghasilkan leleran lava hingga mencapai wilayah pantai. Pada bulan Desember 2011 terjadi erupsi yang menghasilkan asap kawah berwarna putih yang tebal dari kawah

dengan tekanan lemah dan ketinggian-nya mencapai 150 meter mengarah ke Barat, dan kemudian terjadi letusan yang diikuti oleh semburan abu vulkanik.

Aktivitas erupsi baru-baru ini terjadi pada bulan September 2012 yaitu berupa semburan abu vulkanik dengan ketinggian berkisar antara 50 hingga 100 meter sehingga secara visual terlihat seperti abu putih tebal di udara. Abu vulkanik bergerak ke arah timur dan selatan gunung yang menyebabkan Kota Ternate terkena jatuhnya abu vulkanik (ANTARA News).



Gambar 1-3: Erupsi Gunungapi Gamalama di bulan September 2012 yang menghasilkan produk berupa material piroklastik (Sumber: ANTARA News)

Berdasarkan informasi tersebut, dapat diketahui bahwa erupsi Gunungapi Gamalama umumnya menghasilkan produk berupa abu vulkanik (material piroklastik). Namun demikian dapat juga berupa lava pijar yang pernah dihasilkan dari erupsi menyamping. Gambar 1-3 memperlihatkan foto yang diambil pada saat terjadinya erupsi di bulan September 2012 pada kawah yang menghasilkan produk material piroklastik.

2 METODOLOGI

2.1 Data

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Pi-SAR-L2 L-band (1,27 GHz) yang merekam daerah Gunungapi Gamalama dan sekitarnya. Perekaman dilakukan pada tanggal 8 Agustus 2012, dengan waktu perekaman dimulai pada pukul 6:12:57 UTC (15:12:57 WIT). Perekaman dilakukan

dengan polarisasi penuh (*full polarization*), yaitu polarisasi HH, HV, VH, dan VV. Level data L2.1, yaitu sudah dikoreksi secara ortho (*orthorectified image*). Ukuran citra 7100 x 8100 piksel, dengan resolusi spasial 2.5 m. Citra ini diperoleh dari *Earth Observation Research Center (EORC), Space Applications Mission Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*.

Untuk mendukung proses analisis dan interpretasi dipergunakan citra Landsat-7 ETM+, Quickbird, citra model elevasi digital (DEM) dari SRTM dan peta geologi. Citra Landsat-7 ETM+ dan Quickbird dipergunakan sebagai data optis pembandingan terhadap hasil-hasil interpretasi dari citra Pi-SAR-L2, data DEM SRTM dipergunakan untuk mengetahui kondisi topografi wilayah, sedangkan peta geologi dipergunakan untuk memahami kondisi geologi penyusun, terutama dari aspek litologi. Citra Landsat-7 ETM+ yang dipergunakan adalah tanggal perekaman 4 April 2012 yang berdekatan dengan perekaman citra Pi-SAR-L2. Sedangkan citra Quickbird yang digunakan adalah mosaik tanggal 5 Agustus 2009 dan 2 Desember 2010 yang diambil dari *Google Earth*.

Berdasarkan tanggal perekaman data Pi-SAR-L2 dan Landsat-7 ETM+, maka sebaran material hasil erupsi Gunungapi Gamalama adalah material yang dihasilkan pada peristiwa erupsi sebelum tanggal 8 Agustus 2012 dan 4 April 2012, terutama sekali pada periode erupsi di bulan Desember 2011.

2.2 Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data mencakup kalibrasi radiometrik data Pi-SAR-L2 untuk mendapatkan nilai intensitas hamburan balik (*backscatter*) *sigma naught*, perhitungan nilai-nilai statistik (rerata, standar deviasi dan koefisien korelasi antar *band*) *sigma naught* untuk endapan piroklastik dan obyek-obyek permukaan lainnya, serta pemisahan sebaran endapan piroklastik

menggunakan metode pengembangan (*thresholding*).

a) *Kalibrasi radiometrik data Pi-SAR2*

Kalibrasi radiometrik dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien intensitas hamburan balik (*backscatter*) dari obyek-obyek di permukaan lahan yang menjadi target yang diterima oleh sensor radar. Dalam sistem SAR, nilai koefisien intensitas *backscatter* dapat dihitung dari nilai digital (*Digital Number*) citra amplitudo dan faktor kalibrasi (*Calibration Factor*). Untuk data citra amplitudo *16-bit unsigned short integer*, formula untuk menghitung besar intensitas *backscatter* adalah sebagai berikut (Shimada et al., 2009):

$$\sigma^{\circ}_{(dB)} = 10 \cdot \log_{10} \langle DN^2 \rangle + CF \quad (2-1)$$

dimana *DN* adalah nilai digital citra amplitudo dan *CF* adalah faktor kalibrasi (*calibration factor*). Untuk citra Pi-SAR-L2, nilai *CF* ditetapkan oleh JAXA sebesar -79.6. Lambang σ° adalah *sigma naught* yang merupakan nilai koefisien intensitas *backscatter* yang dinyatakan dalam desibel (dB). Hasil dari perhitungan ini akan diperoleh nilai intensitas *backscatter sigma naught* untuk masing-masing polarisasi HH, HV, VH, dan VV.

b) *Perhitungan nilai-nilai statistik obyek endapan piroklastik dan obyek-obyek penutuplahan lainnya.*

Perhitungan nilai statistik intensitas *backscatter sigma naught* meliputi rerata (μ), standar deviasi (SD) dan koefisien korelasi antar *band*. Nilai ini digunakan untuk mengetahui karakteristik kekuatan intensitas *backscatter* pada obyek-obyek yang ada di permukaan gunungapi, khususnya endapan piroklastik dan obyek-obyek penutup lahan lainnya seperti vegetasi dan permukiman. Nilai ini diperlukan untuk memahami interaksi antara *signal* radar dan

obyek-obyek di permukaan bumi (Gunungapi Gamalama). Karakteristik nilai-nilai tersebut sangat penting untuk proses pemisahan antara sebaran endapan piroklastik dengan obyek-obyek lainnya.

c) *Pemisahan sebaran endapan piroklastik*
Metode pemisahan obyek endapan piroklastik dari obyek-obyek penutup lahan lainnya dilakukan dengan pengembangan (*thresholding*). Nilai ambang batas dapat ditentukan berdasarkan nilai rerata dan standar deviasi. Mengacu metode penentuan *threshold* pada penelitian Fraser et al (2000), dalam penelitian ini akan diujicobakan *threshold* berdasarkan nilai rerata dan standar deviasi, yaitu:

$$\text{Threshold atas} = \mu + 1 \cdot SD \quad (2-2)$$

$$\text{Threshold bawah} = \mu - 1 \cdot SD \quad (2-3)$$

Dimana μ adalah rerata dan SD adalah standar deviasi dari nilai intensitas *backscatter sigma naught*. Untuk memilih *threshold* terbaik dilakukan komparasi dengan data referensi. Komparasi dilakukan secara visual antara hasil pemisahan terhadap sebaran endapan piroklastik yang tampak terlihat dari citra Landsat-7 ETM+. Kombinasi komposit yang sesuai untuk interpretasi *landforms* gunungapi adalah komposit RGB 543 dengan penajaman spasial *highpass filter sharpen2* (Asriningrum, 2002). Berdasarkan kasus Gunungapi Merapi, endapan piroklastik dapat diamati dari citra Landsat-7 ETM+ komposit warna RGB 543 yang memperlihatkan warna merah cerah. Adanya perpaduan dengan warna biru menunjukkan adanya kandungan air yang tinggi pada endapan lahar atau lava (Asriningrum et al., 2004). Dengan demikian, endapan piroklastik selain akan tampak menunjukkan warna merah juga dapat berwarna merah kebiruan jika dijumpai adanya kandungan air yang tinggi. Dalam hal

adanya tutupan awan pada citra Landsat-7 ETM+, maka komparasi dilakukan terbatas hanya pada daerah-daerah yang bebas awan saja.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Kalibrasi Radiometrik Citra Pi-SAR2

Tampilan visual hasil kalibrasi radiometrik citra Pi-SAR2 untuk polarisasi HH, HV, dan VV masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3-1. Secara visual, citra dengan polarisasi VV menampilkan kontras yang paling tinggi dibandingkan dengan polarisasi HH dan HV. Namun pada polarisasi HV, obyek perairan memberikan nilai σ_{naught} yang paling kecil bila dibandingkan pada polarisasi HH dan VV.

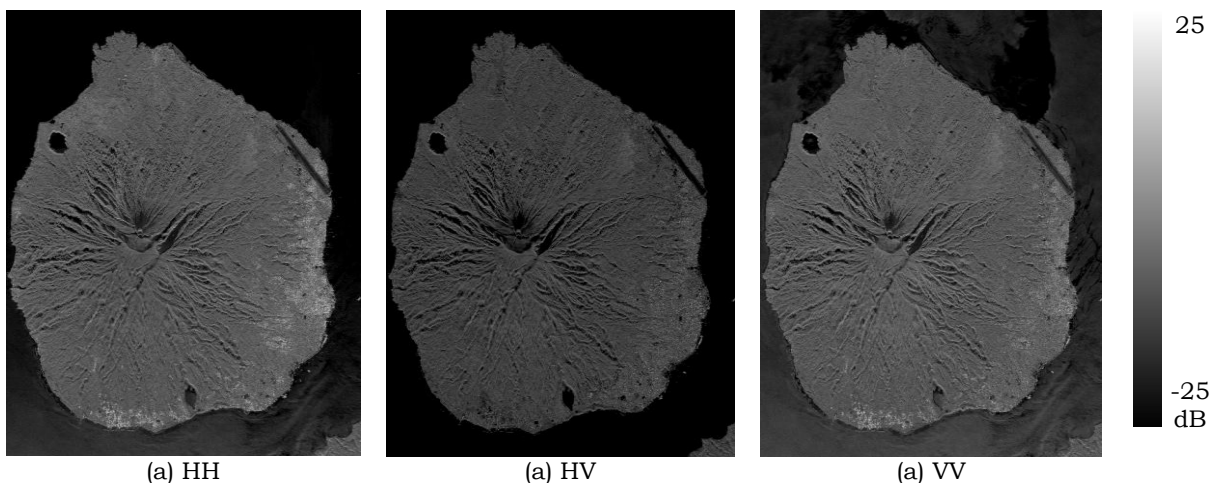
Berdasarkan pengamatan secara visual, maka dapat diketahui adanya perbedaan nilai hamburan balik pada masing-masing polarisasi. Dengan demikian, ketiga polarisasi tersebut menjadi penting untuk dipergunakan dalam proses identifikasi sebaran material piroklastik.

3.2 Analisis Statistik Nilai Intensitas Backscatter Obyek Material Piroklastik

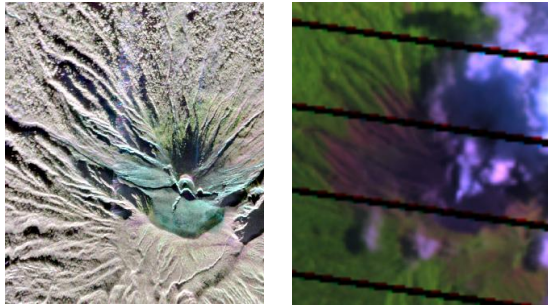
Analisis statistik nilai intensitas backscatter σ_{naught} dilakukan terhadap beberapa lokasi sampel

(*training area*) yang merepresentasikan berbagai obyek di permukaan bumi, yaitu meliputi: endapan piroklastik, bekas-bekas aliran lava (singkapan batuan lava yang sudah mengalami denudasi), hutan, permukiman, aspal, dan tubuh perairan (danau). Di dalam pemilihan *training area* dibantu dengan pengamatan menggunakan citra Landsat-7 ETM+ sehingga mampu menunjukkan lokasi yang lebih tepat. Gambar 3-2 dan 3-3 menunjukkan contoh obyek material piroklastik yang nampak pada citra Pi-SAR2 dan Landsat-7 ETM+ serta Quickbird. Material piroklastik nampak berwarna cyan pada citra Pi-SAR2 dan merah kebiruan pada citra Landsat-7 ETM+, serta merah keunguan pada citra Quickbird.

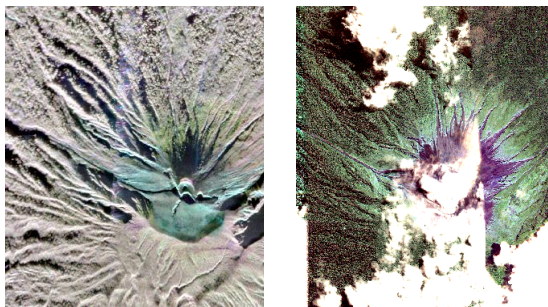
Hasil perhitungan rerata dan standar deviasi intensitas *backscatter* σ_{naught} terhadap beberapa lokasi sampel untuk obyek endapan piroklastik (5 *training area*, 8.868 piksel), lava yang telah terdenudasi (5 *training area*, 2.097 piksel), hutan (5 *training area*, 56.566 piksel), permukiman (5 *training area*, 4.018 piksel), aspal bandara (7 *training area*, 1.036 piksel), dan perairan danau (2 *training area*, 4.483 piksel) ditunjukkan pada Tabel 3-1.



Gambar 3-1: Tampilan visual Citra Pi-SAR2 wilayah Gunungapi Gamalama untuk masing-masing tipe polarisasi (nilai piksel dinyatakan dalam dB)



(a) Pi-SAR2 (b) Landsat-7 ETM+
 Gambar 3-2: Tampilan visual (a) Citra Pi-SAR2 komposit RGB HV-VV-HH dan (b) Landsat-7 ETM+ komposit RGB 543 bagian puncak Gunungapi Gamalama



(a) Pi-SAR2 (b) Quickbird
 Gambar 3-3: Tampilan visual (a) Citra Pi-SAR2 komposit RGB HV-VV-HH dan (b) Quickbird komposit RGB 321 bagian puncak Gunungapi Gamalama

Tabel 3-1: NILAI RERATA DAN STANDAR DEVIASI INTENSITAS BACKSCATTER SIGMA NAUGHT PADA BERBAGAI OBYEK PERMUKAAN DI GUNUNGAPI GAMALAMA

Jenis obyek	Intensitas Backscatter Sigma Naught							
	HH		HV		VH		VV	
	Rerata	SD	Rerata	SD	Rerata	SD	Rerata	SD
Piroklastik	-11,84	4,91	-19,84	4,08	-19,79	4,16	11,00	5,62
Lava	-8,53	1,73	-14,70	1,73	-14,61	1,71	-7,57	1,47
Hutan	-8,40	1,72	-12,03	1,69	-11,90	1,69	-7,00	1,77
Permukiman	1,18	4,28	-12,59	2,92	-12,53	2,92	-1,17	4,03
Aspal	-17,45	0,99	-24,71	0,86	-24,57	0,84	15,51	1,23
Air Danau	-27,64	1,02	-32,11	0,99	-31,85	0,96	27,17	2,60

Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui bahwa secara umum masing-masing obyek memberikan respon *backscatter* yang berbeda dan spesifik untuk tiap-tiap polarisasi. Secara khusus, untuk obyek material piroklastik, pada polarisasi HH, HV, VH, dan VV berturut-turut memberikan nilai

sigma naught -11.84, -19.84, -19.79, dan -11.00. Nilai-nilai tersebut berbeda dari yang diberikan oleh obyek-obyek lainnya baik endapan lava, hutan, permukiman, aspal, dan perairan danau.

Namun, apabila dilihat dari nilai koefisien korelasi antar polarisasi, dapat diketahui bahwa secara umum untuk seluruh wilayah Gunungapi Gamalama yang teramati, menunjukkan korelasi yang sangat tinggi, termasuk di antaranya untuk obyek endapan piroklastik. Pengecualian terjadi pada obyek aspal dimana mempunyai korelasi yang rendah antara polarisasi HH-HV, HH-VH, dan HH-VV. Juga untuk obyek air mempunyai korelasi yang rendah antara polarisasi HH dan VV. Selengkap-nya dapat dilihat pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2: KORELASI ANTAR NILAI INTENSITAS BACKSCATTER SIGMA NAUGHT MASING-MASING POLARISASI PADA BERBAGAI OBYEK PERMUKAAN DI GUNUNGAPI GAMALAMA

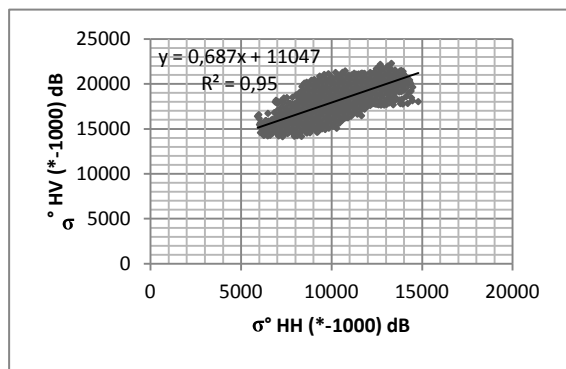
PIROKLASTIK				
	HH	HV	VH	VV
HH	1	0,973	0,973	0,988
HV	0,973	1	0,998	0,971
VH	0,973	0,998	1	0,971
VV	0,988	0,971	0,971	1
LAVA				
	HH	HV	VH	VV
HH	1	0,822	0,825	0,854
HV	0,822	1	0,997	0,799
VH	0,825	0,997	1	0,804
VV	0,854	0,799	0,804	1
HUTAN				
	HH	HV	VH	VV
HH	1	0,79	0,788	0,8
HV	0,79	1	0,999	0,808
VH	0,788	0,999	1	0,807
VV	0,8	0,808	0,807	1
PERMUKIMAN				
	HH	HV	VH	VV
HH	1	0,777	0,772	0,873
HV	0,777	1	1	0,752
VH	0,772	1	1	0,749
VV	0,873	0,752	0,749	1

ASPAL				
	HH	HV	VH	VV
HH	1	0,405	0,445	-0,197
HV	0,405	1	0,942	0,113
VH	0,445	0,942	1	0,122
VV	-0,197	0,113	0,122	1

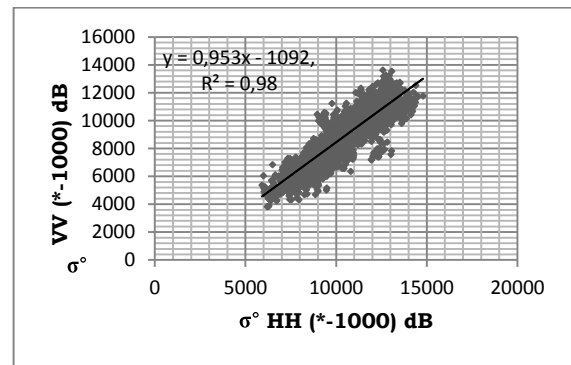
AIR DANAU				
	HH	HV	VH	VV
HH	1	0,657	0,688	0,369
HV	0,657	1	0,795	0,242
VH	0,688	0,795	1	0,242
VV	0,369	0,242	0,242	1

SEMUA KELAS				
	HH	HV	VH	VV
HH	1	0,921	0,916	0,947
HV	0,921	1	0,999	0,871
VH	0,916	0,999	1	0,867
VV	0,947	0,871	0,867	1

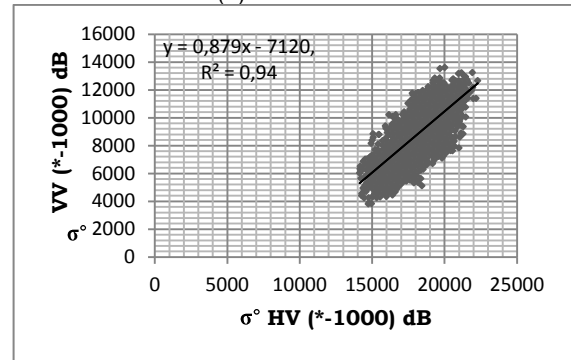
Gambar 3-4 memperlihatkan diagram pencar nilai koefisien *backscatter sigma naught* pada obyek endapan piroklastik pada polarisasi HH versus HV, HH versus VV dan HV versus VV. Berdasarkan nilai rerata dan koefisien korelasi antar jenis polarisasi, maka secara prinsip di sini dapat diketahui bahwa untuk mengidentifikasi obyek endapan piroklastik cukup dilakukan hanya dengan mempergunakan satu jenis polarisasi saja. Selanjutnya, untuk mengidentifikasi endapan piroklastik dapat dipilih jenis polarisasi yang memiliki nilai standar deviasi paling rendah, yaitu jenis polarisasi HV.



(a) HH vs HV



(b) HH vs VV



(c) HV vs VV

Gambar 3-4: Diagram pencar nilai koefisien *backscatter sigma naught* pada obyek endapan piroklastik pada polarisasi HH versus HV, HH versus VV dan HV versus VV

3.3 Pemisahan Sebaran Endapan Piroklastik

Pemisahan sebaran endapan piroklastik dari obyek-obyek permukaan lainnya diujicobakan dengan menggunakan pengembangan (*thresholding*). Meskipun pemisahannya dapat menggunakan satu jenis polarisasi saja (polarisasi HV), namun di sini akan diujicobakan untuk semua jenis polarisasi dan kombinasi dari beberapa polarisasi. *Threshold* yang dipergunakan adalah nilai ambang batas atas (menggunakan nilai rerata ditambah 1 standar deviasi) dan nilai ambang batas bawah (rerata dikurangi 1 standar deviasi). Tabel 3-3 menunjukkan nilai *threshold* untuk masing-masing polarisasi.

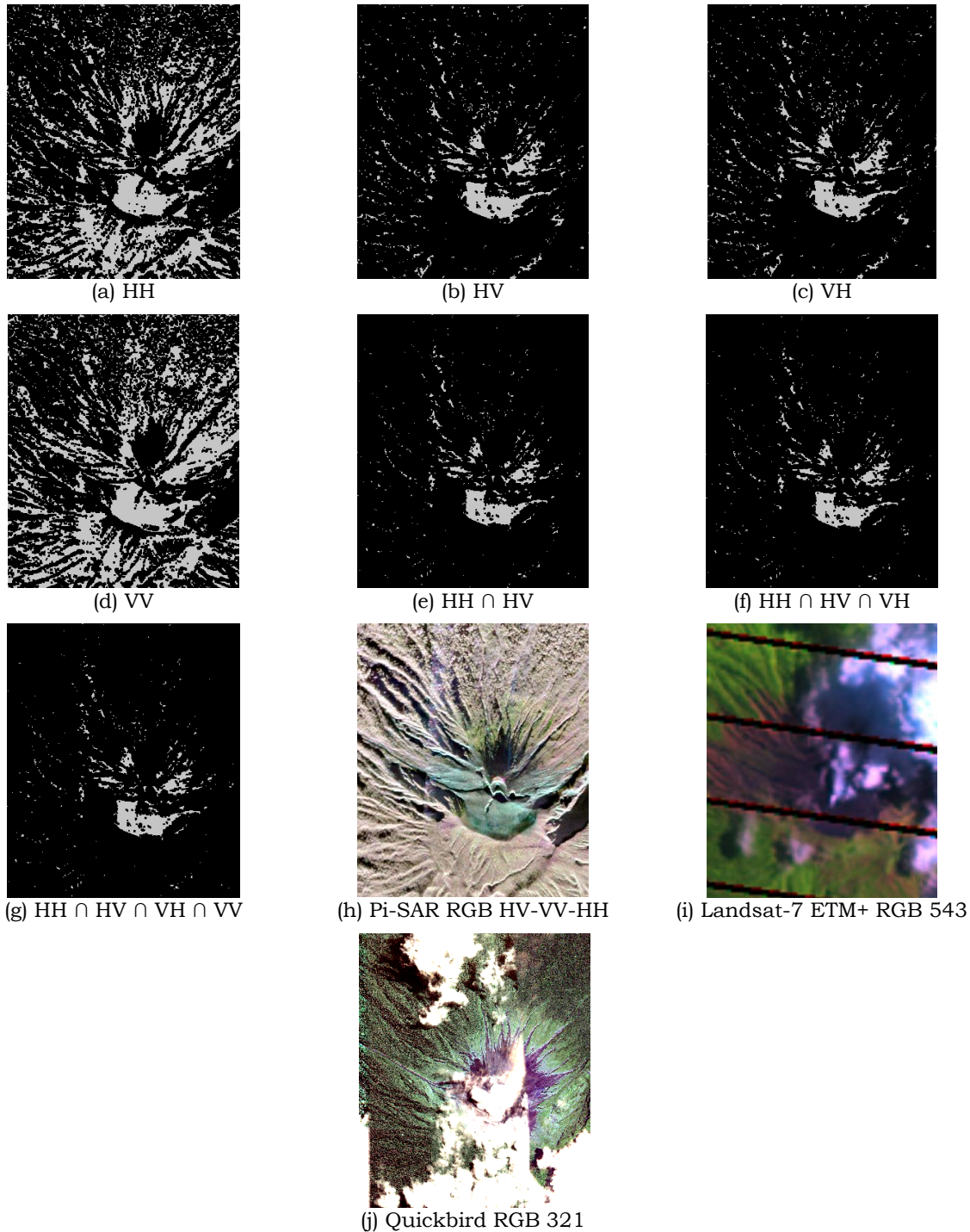
Tabel 3-3: NILAI AMBANG BATAS UNTUK PEMISAHAN OBYEK ENDAPAN PIROKLASTIK DARI OBYEK- OBYEK LAINNYA

Polarisasi	Threshold σ° (dB)		
	Atas	Bawah	Rerata
	$\mu + SD$	$\mu - SD$	μ

HH	-6,93	-16,74	-11,84
HV	-15,76	-23,92	-19,839
VH	-15,63	-23,96	-19,793
VV	-5,39	-16,62	-11,00

Hasil penerapan masing-masing *threshold* dan kombinasinya dalam pemisahan obyek endapan piroklastik dapat dilihat pada Gambar 3-5. Citra

Landsat-7 ETM+ komposit warna RGB 543 *highpass filter sharpen2* dan PiSAR-L2 komposit warna RGB HV-VV-HH digunakan sebagai pembandingan hasil pemisahan. Endapan piroklastik nampak berwarna *cyan* pada citra Pi-SAR2 dan merah keunguan pada citra Landsat-7 ETM+.



Gambar 3-5: Hasil penerapan *threshold* untuk mengidentifikasi sebaran endapan piroklastik (a sampai dengan g). Gambar (h, i dan j) memperlihatkan citra Pi-SAR2, Landsat-7 ETM+ dan Quickbird sebagai pembandingan

Secara visual, hasil pemisahan menunjukkan bahwa penggunaan *threshold* dengan polarisasi HH memiliki pola yang mirip dengan polarisasi VV. Selain itu, pada polarisasi HV juga mempunyai pola yang mirip dengan polarisasi VH. Apabila dibandingkan dengan pola sebaran endapan piroklastik secara visual pada Citra Pi-SAR-L2 dan Landsat-7 ETM+ dapat diketahui bahwa pada polarisasi HH dan VV tidak menunjukkan kemiripan, atau dengan kata lain memberikan hasil yang tidak tepat. Selain itu, terlihat lebih banyak *commision error*, yaitu banyak obyek-obyek yang sebenarnya bukan endapan piroklastik, tetapi teridentifikasi sebagai endapan piroklastik. Obyek-obyek tersebut dapat berupa lahan-lahan terbuka yang menyingkapkan lapisan tanah (pada citra Landsat-7 ETM+ komposit RGB 543 tampak berwarna kemerah-merahan). Lapisan tanah yang tersingkap memiliki tekstur permukaan yang mirip dengan endapan piroklastik yang masih relatif baru.

Selanjutnya melakukan kombinasi dengan membuat irisan antar polarisasi. Pola yang mirip dihasilkan dari penggunaan *threshold* pada polarisasi HV, VH, HH \cap HV, HH \cap HV \cap VH dan HH \cap HV \cap VH \cap VV. Namun dari ke-5 *threshold* yang disebutkan terakhir tersebut, *threshold* dengan polarisasi HH \cap HV memberikan hasil dengan pola yang paling mirip, meskipun masih tetap saja dijumpai adanya *ommision error* (obyek-obyek endapan piroklastik yang tidak teridentifikasi). Dengan demikian, jenis polarisasi yang sesuai untuk mengidentifikasi sebaran endapan piroklastik hasil erupsi Gunungapi Gamalama adalah dengan menggunakan secara bersamaan polarisasi HH dan HV.

4 KESIMPULAN

Pi-SAR2 dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi sebaran endapan piroklastik hasil erupsi gunungapi dengan menggunakan metode pengembangan. Penggunaan secara bersamaan

polarisasi HH dan HV akan memberikan hasil lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *single* polarisasi HH maupun VV. Endapan piroklastik memberikan nilai *backscatter sigma naught* antara -16,74 hingga -6,93 dB pada polarisasi HH dan -23,92 hingga -15,76 dB pada polarisasi HV. Penelitian ini menyarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menerapkan metode verifikasi yang didukung dengan penggunaan data-data lapangan (*ground check*).

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini adalah bagian dari hasil kegiatan riset singkat pemanfaatan data Pi-SAR di Kedepatian Penginderaan Jauh LAPAN. Terima kasih kepada Kabid Sumberdaya Wilayah Darat (Ir. Arum Tjahyaningsih, M.Si) serta Kabid Lingkungan dan Mitigasi Bencana (Dr. M. Rokhis Khomarudin) yang telah memfasilitasi terselenggaranya penelitian ini. Terima kasih juga kepada pihak JAXA dan Direktur PTISDA BPPT yang telah menyediakan materi (data Pi-SAR2 beserta pelatihannya) sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR RUJUKAN

- Asriningrum, A., 2002. *Studi Kemampuan Landsat ETM+ untuk Identifikasi Bentuklahan (Landforms) di daerah Jakarta-Bogor*, Tesis Program Pasca Sarjana IPB, Bogor.
- Asriningrum, A., Noviar, H., & Suwarsono, 2004. *Pengembangan Metode Zonasi Daerah Bahaya Letusan Gunung Api Studi Kasus Gunung Merapi*, Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital (1), 66-75.
- Bignami, C., Ruch, J., Chini, M., Neri, M., Buongiorno, M.F., Hidayati, S., Sayudi, D.S., & Surono, 2013. *Pyroclastic Density Current Volume Estimation After the 2010 Merapi Volcano Eruption Using X-Band SAR*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, <http://>

- dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.03.023.
- Direktorat Vulkanologi, 1979. *Data Dasar Gunung Api Indonesia*. Dirjen Pertambangan Umum, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Ebmeier, S.K., Biggs, J., Mather, T.A., Elliot, J.R., Wadge, G., & Amelung, F., 2012. *Measuring Large Topographic Change with InSAR: Lava Thicknesses, extrusion rate and subsidence rate at Santiaguito volcano, Guatemala*. *Earth and Planetary Science Letters*, 335-336, 216-225.
- Fraser, R.H., Li, Z., & Cihlar, J., 2000 . Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal foresy. *Remote Sensing of Environment*, 72, 362-376.
- Matthews, J.P, Kamata, H., Okuyama, S., Yusa, Y., & Shimizu, H., 2003. *Surface Height Adjustments in Pyroclastic-Low Deposits Observed at Unzen Volcano by JERS-1 SAR Interferometry*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 125, 247-270.
- Pallister, J.S., Schneider, D.J., Griswold, J.P., Keeler, R.H., Burton, W.C., Noyles, C., Newhall, C.G., & Ratdomopurbo, A., 2012. *Merapi 2010 Eruption—Chronology and Extrusion Rates Monitored with Satellite Radar and used in Eruption Forecasting*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.07.012>.
- Shimada, M., Isoguchi, O., Tadono, T., & Isono, K., 2009). *PALSAR Radiometric and Geometric Calibration*. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* (47), 12, 3915-3931.
- Saepuloh, A. & Koike, K., 2009. *Detailed Mapping of Pyroclastic Flow Deposits by SAR Data Processing for an Active Volcano in the Torrid Zone*. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 29, 270-274.
- Saepuloh, A. Urai, M., Aisyah, N., Sunarta, Widiwijayanti, C., Subandriyo, & Jousset, P., 2010. *Observing Ground Surface Changes Prior to the 2010 Large Eruption of Merapi Volcano using ALOS/PALSAR and ASTER TIR Data Sets*. *Journal of volcanology and geothermal research*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2013.05.001.
- Tomiyama, N., Koike, K., & Omura, M., 2004. *Detection of Topographic Changes Associated with Volcanic Activities of Mt. Hossho using D-InSAR*. *Advances in Space Research*, 33, 279-283.
- Uratsuka, S., Kobayashi, T., Umehara, T., Matsuoka, T., Nadai, A., Satake, M., Uemoto, J., 2010. *Airborne SAR Development at NICT: Concept for new Generation*. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto, Japan, ISPRS, Aug. 9-13, 2010.
- Uratsuka, S., 2009. *Getting Disaster Situations Instantly, in Greater Detail*. *NICT News*, No 380, May 2009, 1-2.
- Zuidam, R.A.van., 1985. *Aerial Photo-Intrepretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC, Enschede, The Netherlands.
- <http://www.antaranews.com/berita/333794/gunung-gamalama-masih-semburkan-abu-vulkanik>. Diakses tanggal 1 Desember 2012.
- <http://www.esdm.go.id/berita/geologi/42-geologi/5229-status-gunung-gamalama-meningkat-menjadi-siaga.html>. Diakses tanggal 1 Desember 2012.
- <http://proxy.vsi.esdm.go.id/index.php?catid=&halaman=1>. Diakses tanggal 1 Desember 2012.

