

APLIKASI KLASIFIKASI TERBIMBING UNTUK MEMETAKAN PRODUK GUNUNG AGUNG DENGAN LANDSAT 8-OLI/TIRS DAN VERIFIKASI GEOLOGI LAPANGAN

YUDHISTIRA ADIKA NUGRAHA, ASEP SAEPULOH

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung (ITB), JL. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40132, Email: yudhistiraadika@gmail.com

Sari – Pemetaan geologi untuk produk gunungapi yang baru meletus akan memberikan informasi dasar yang penting dalam memahami karakteristik letusan dan proses mitigasi bahaya yang bisa dilakukan. Sulitnya medan lapangan dan tingkat bahaya yang masih tinggi di sekitar puncak gunungapi aktif menyebabkan pemetaan produk gunungapi seringkali sulit dilakukan dengan metode observasi langsung. Untuk memberikan alternatif solusi dari permasalahan tersebut, kami mencoba memaparkan teknik pemetaan produk gunungapi digital menggunakan metode klasifikasi terbimbing dari data lapangan yang masih bisa terjangkau. Pemilihan data citra dengan koreksi atmosfer yang tepat merupakan faktor penting untuk memperoleh tingkat akurasi peta yang tinggi. Metode klasifikasi terbimbing yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Minimum Distance Classification*. Metode ini menggunakan vektor rata-rata masing-masing ROI dan menghitung jarak *Euclidean* dari setiap piksel untuk masing-masing kelas sehingga setiap kelas dapat dibedakan dengan baik dan presisi. Observasi lapangan dilakukan sebelum proses klasifikasi dengan memilih sebanyak 140 titik observasi yang tersebar di sebelah timur Gunung Agung. Data geologi lapangan meliputi litologi batuan, hubungan antar batuan, dan mekanisme pembentukannya yang dijadikan referensi dalam penentuan kelas dari citra Landsat 8-OLI/TIRS. Lokasi observasi lapangan berada di sebelah timur Gunung Agung yang mencakup area 60 km² dan secara administratif terletak di perbatasan antara Kecamatan Kubu, Kecamatan Abang, dan Kecamatan Bebandem, Kabupaten Karangasem, Provinsi Bali. Metode klasifikasi terbimbing mampu memetakan produk Gunung Agung untuk daerah yang tidak terjangkau dengan luas area 324 km². Proses verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi terbimbing pada daerah penelitian dengan titik observasi di lapangan menggunakan metode *Classification Accuracy Assessment* dengan hasil akurasi mencapai 90%.

Kata kunci: Gunung Agung, Landsat 8-OLI/TIRS, klasifikasi terbimbing, akurasi.

Abstract – *Geological mapping for volcano products that has just erupted will give important basic information to understand the eruption characteristic and the hazard mitigation that can be done. Difficult terrain and high danger around active volcano cause geological mapping hard to be done using direct observation method. To give another solution for the problem, we try to explain digital volcano products mapping using supervised classification method from field data that still be reached. Image data selection with atmospheric correction is the important factor to get high map accuracy. Supervised classification method that used in this research is Minimum Distance Classification. This method uses average vector for each ROI and calculates Euclidean distance from every pixel for each class, so every class can be distinguished well and precisionly. Geological observation is done before classification process by choosing 140 observation point that spread in the east of Agung Volcano. Geological data consists of lithology, correlation, and the mechanism of the rocks that used as the reference in the determination of class for classification from Landsat 8-OLI/TORS image. The research area is located on the east of Agung Volcano which has 60 km². It is located between Kubu District, Abang District, and Bebandem District, Karangasem Regency, Bali Province. Supervised classification can map products of Agung Volcano for area that can't be reached around 324 km². Verification process is done by comparing supervised classification result in research area with observation point at the field using Classification Accuracy Assessment method with result reaching 90%.*

Key words: Agung Volcano, Landsat 8-OLI/TIRS, supervised classification, accuracy.

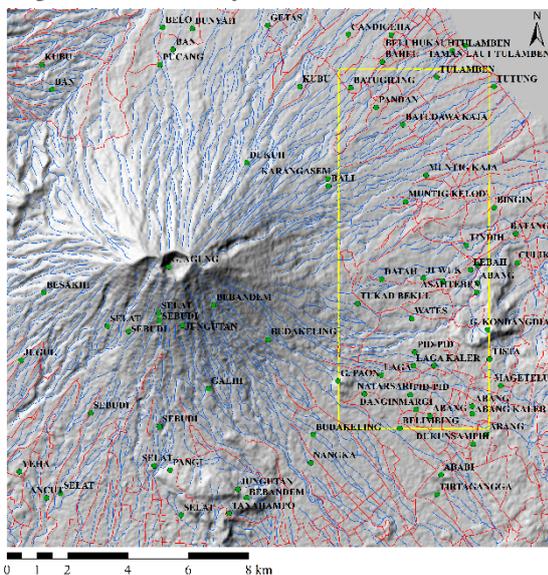
1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sekitar 127 gunungapi aktif yang merupakan hasil tumbukan antara tiga lempeng, yaitu: Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Salah satu hasil interaksi tersebut menghasilkan gunungapi tertinggi yang ada di

Pulau Bali, yaitu Gunung Agung (**Gambar 1**). Gunung Agung terakhir meletus pada bulan Juli 2018 lalu dan masih memperlihatkan aktivitasnya hingga saat ini. Pemetaan geologi perlu dilakukan untuk menambah data geologi khususnya pada gunungapi aktif, serta memberikan informasi dasar mengenai

potensi terjadinya bencana terkait letusan gunungapi. Karena kondisi Gunung Agung yang masih dalam status siaga hingga saat ini, potensi gas beracun dan awan panas dapat membatasi pemetaan detail pada kawasan tersebut.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjawab permasalahan tersebut adalah menggunakan metode penginderaan jauh atau *remote sensing*. Citra Landsat 8-OLI/TIRS (*Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor*) terkoreksi



Gambar 1. Lokasi Gunung Agung yang berada di Pulau Bali dan batas area klasifikasi dengan area observasi geologi lapangan di daerah Karangasem (kotak kuning)

Secara fisiografis, daerah penelitian termasuk ke dalam zona kompleks daerah vulkanik (Ejasta, 1995, dalam Nasution dkk., 2004). Zona ini merupakan daerah dengan deretan gunungapi yang membentang dengan arah barat-timur (**Gambar 2**). Zona ini terbagi menjadi empat kompleks vulkanik, yaitu kompleks vulkanik di bagian barat yang terdiri dari Gunung Patas, Kelakatan, Sangiang, Merbuk, dan Mesehe; Komplek Vulkanik Buyan-Beratan di bagian tengah; Gunung Batur; dan Komplek Vulkanik Agung-Seraya

atmosfer digunakan untuk mengetahui gambaran umum di lapangan secara visual, seperti geomorfologi, struktur geologi, dan tutupan lahan.

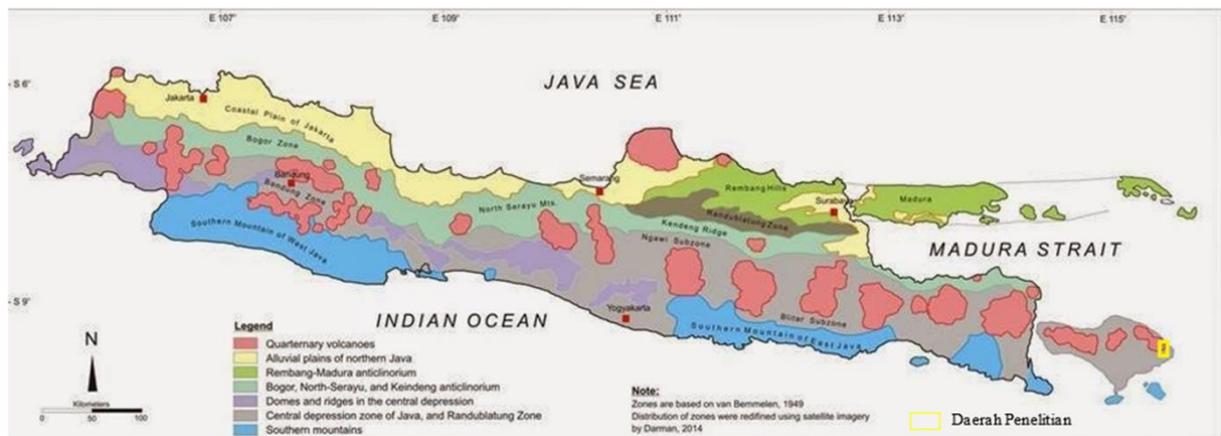
Tulisan ini bertujuan untuk mendemonstrasikan teknik dalam melakukan pendeteksian fitur-fitur geologi yang terdapat di Gunung Agung secara visual menggunakan klasifikasi terbimbing dari citra Landsat 8-OLI/TIRS dan pemetaan unit batuan sesuai dengan kaidah vulkanostratigrafi.

di bagian timur.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara (Purbo-Hadiwidjojo dkk., 1998), stratigrafi daerah penelitian tersusun atas tiga satuan batuan. Satuan batuan tersebut diurutkan dari muda ke tua antara lain:

- **Batuan Gunungapi Agung:** terdiri dari agglomerat, tuf, lava, lahar, dan ignimbrit; sebagai hasil kegiatan Gunung Agung yang masih giat.
- **Lava Gunung Pawon:** terdiri dari lava bersusunan andesit-basalt dari kerucut parasiter Gunung Pawon.
- **Batuan Gunungapi Seraya:** terdiri dari breksi gunungapi berselingan lava.

Pengaruh tektonik utama untuk Pulau Bali didominasi oleh adanya tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Busur Sunda yang membentang dari Selat Sunda di barat sampai Pulau Romang di timur. Tumbukan ini menyebabkan timbulnya pusat-pusat gempa bumi di zona subduksi Jawa yang dimulai dari Selat Sunda di bagian barat dan berakhir di Pulau Banda di bagian timur dan pusat-pusat gempa bumi pada patahan naik belakang busur Flores. Silver dkk. (1986) memperkirakan bahwa patahan tersebut disisi barat berlanjut sampai ke Cekungan Bali yang terletak di utara Pulau Bali.



Gambar 2. Fisiografi Pulau Jawa-Bali menunjukkan daerah penelitian (kotak kuning) berada pada zona gunungapi kuarter (modifikasi oleh Darman, 2014 dari van Bemmelen, 1949)

2. DATA DAN METODOLOGI

Citra satelit yang digunakan pada penelitian ini adalah citra satelit Landsat 8-OLI/TIRS *band* multispektral dengan resolusi spasial sebesar 30 m yang diakuisisi pada tanggal 9 Mei 2018. Dasar pemilihan tanggal akuisisi untuk citra Landsat 8-OLI/TIRS adalah diakuisisi setelah erupsi pada tanggal 26 November 2017 dan memiliki *noise* yang sedikit, khususnya awan, pada daerah penelitian. Selain data citra satelit, data geologi yang diambil selama proses observasi lapangan berupa litologi batuan, hubungan antar batuan, dan mekanisme pembentukannya juga digunakan sebagai referensi dalam penentuan kelas klasifikasi dari citra Landsat 8-OLI/TIRS.

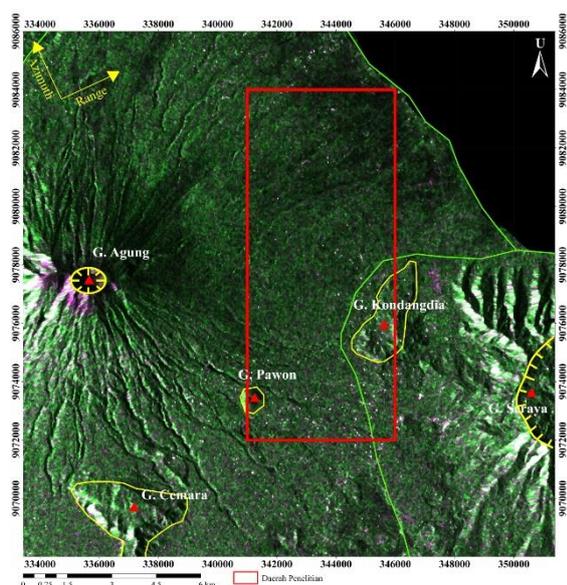
Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini diawali dengan analisis secara visual dari citra Landsat 8-OLI/TIRS yang telah dikoreksi atmosfer untuk mempelajari kondisi awal di lapangan, seperti kondisi geomorfologi, struktur geologi, dan tutupan lahan. Metode koreksi atmosfer yang digunakan adalah metode koreksi FLAASH yang biasa digunakan pada citra Landsat 8-OLI/TIRS *band* multispektral. Berdasarkan analisis secara visual yang meliputi kerapatan vegetasi, kemiringan lereng, dan penyebaran produk gunungapi, ditentukanlah titik observasi yang memenuhi setiap kriteria tersebut yang digunakan sebagai pedoman selama berada di lapangan. Data geologi yang telah didapatkan selama observasi lapangan nantinya akan digunakan sebagai referensi

dalam penentuan kelas untuk penerapan metode klasifikasi terbimbing. Hasil dari metode klasifikasi terbimbing tersebut kemudian divalidasi dengan titik observasi di lapangan menggunakan metode *Classification Accuracy Assessment* pada *software* ArcGIS untuk mendapatkan nilai akurasi dari hasil klasifikasi tersebut. Cara kerja metode ini adalah mengecek setiap piksel yang didalamnya terdapat titik observasi apakah piksel tersebut masuk ke dalam klasifikasi yang benar sesuai dengan kondisi di lapangannya. Kemudian untuk setiap titik observasi yang tepat antara kondisi di lapangan dengan hasil klasifikasinya dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah titik observasi untuk mendapatkan nilai akurasi dari hasil klasifikasi tersebut.

3. OBSERVASI LAPANGAN

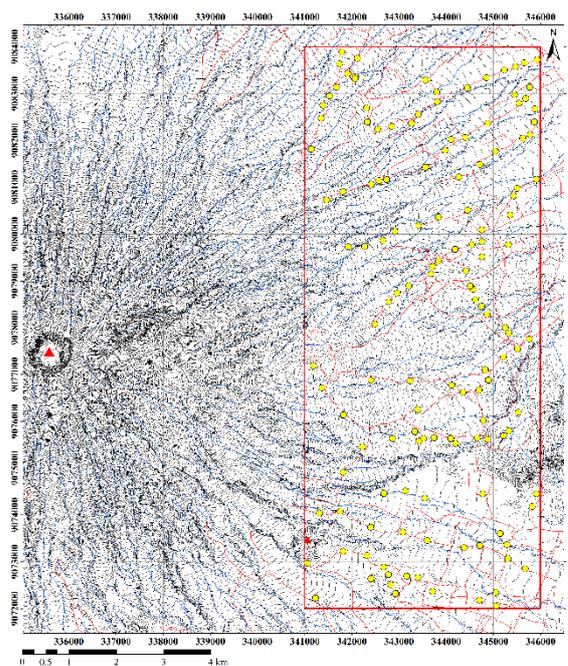
Beberapa macam analisis pada citra Landsat 8-OLI/TIRS digunakan untuk menentukan kerapatan vegetasi, kemiringan lereng, dan penyebaran produk gunungapi yang nantinya akan digunakan sebagai pedoman dalam penentuan titik observasi lapangan. Kerapatan vegetasi pada daerah penelitian berdasarkan analisis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) menunjukkan tingkat yang rendah hingga rapat. Kemiringan lereng pada daerah penelitian berdasarkan Klasifikasi van Zuidam (1985) menunjukkan kemiringan yang relatif landai hingga agak miring, kecuali pada Gunung Pawon. Selain itu, analisis visual dari citra Landsat 8-OLI/TIRS digunakan untuk menentukan khuluk dan

gumuk gunungapi. Berdasarkan analisis tersebut, daerah penelitian terbagi menjadi dua khuluk, yaitu Khuluk Agung dan Khuluk Seraya. Khuluk Agung memiliki dua gumuk, yaitu Gumuk Agung dan Gumuk Pawon, sedangkan Khuluk Seraya memiliki satu gumuk, yaitu Gumuk Kondangdia (**Gambar 3**).



Gambar 3. Pembagian unit stratigrafi Gunung Agung pada citra Sentinel-1A yang diakuisisi pada tanggal 1 Agustus 2017 dengan komposisi warna R, G, B = VV, VH, VV

Dari setiap hasil analisis yang telah dilakukan, kemudian ditentukan titik observasi lapangan dengan ketentuan titik observasi tersebut berada pada daerah yang relatif tidak ada vegetasi, memiliki kemiringan yang relatif landai, dan dekat dengan jalan maupun sungai untuk kemudahan akses. Diharapkan daerah yang memenuhi kriteria tersebut akan ditemukan singkapan batuan yang representatif untuk keperluan analisis lebih lanjut. Hasilnya, terdapat 140 titik observasi lapangan yang yang memenuhi kriteria tersebut dan terbukti terdapat singkapan batuan di lapangan (**Gambar 4**). Kemudian diambil sampel batuan yang mewakili setiap satuan batuan yang diperkirakan untuk mengetahui jenis batuan yang terdapat di lapangan menggunakan analisis petrografi di laboratorium.

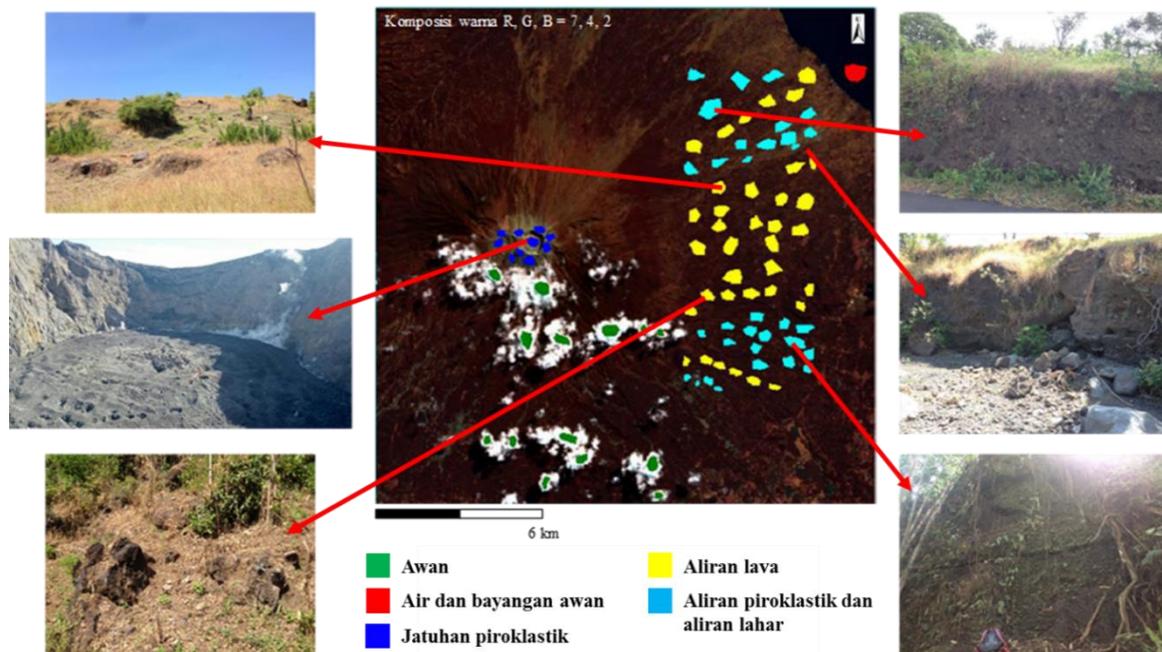


Gambar 4. Penyebaran titik observasi lapangan (titik kuning) pada daerah penelitian

4. KLASIFIKASI TERBIMBING PRODUK GUNUNG AGUNG

Klasifikasi citra menurut Lillesand dan Kiefer (1987) dibagi ke dalam dua klasifikasi, yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*). Prosedur pengklasifikasian klasifikasi terbimbing dilakukan dengan memberikan contoh atau sampel dari informasi kelas dari citra yang akan diklasifikasi yang disebut dengan *training sites* dan kemudian komputer akan mengklasifikasikan sesuai dengan *training sites* yang sudah ditentukan. Sedangkan prosedur pengklasifikasian klasifikasi tidak terbimbing diputuskan secara otomatis oleh komputer atau perangkat lunak dengan memeriksa data citra dan memecah data tersebut ke dalam pengelompokan spektral yang paling sesuai.

Citra dibangun oleh piksel-piksel yang didalamnya menyimpan *digital number* yang mempengaruhi tingkat gelap dan terang berdasarkan karakteristik pantulan objek. Sehingga, keberhasilan otomatisasi klasifikasi citra bergantung pada adanya ciri khas khusus dari nilai respon spektral setiap objek,



Gambar 5. Citra Landsat 8-OLI/TIRS (komposisi warna R, G, B = 7, 4, 2) dengan *Region of Interest* (ROI) berdasarkan data lapangan dan kondisi singkapan di lapangan

serta kemampuan perangkat lunak dalam membedakan pola respon spektral yang mungkin ada.

Pada penelitian ini jenis klasifikasi yang digunakan adalah klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan menggunakan data acuan pada daerah penelitian sebagai *Region of Interest* (ROI) untuk mengetahui penyebaran produk Gunung Agung secara keseluruhan. Berdasarkan data lapangan yang sudah diambil dan kenampakan visual yang jelas terlihat pada citra, citra ini akan dibagi ke dalam lima kelas, yaitu awan, air dan bayangan awan, aliran piroklastik dan aliran lahar, aliran lava, dan jatuhan piroklastik (**Gambar 5**).

Metode klasifikasi terbimbing yang digunakan adalah *Minimum Distance Classification*. Secara prinsip, metode ini menggunakan vektor rata-rata masing-masing ROI dan menghitung jarak *Euclidean* dari setiap piksel yang diketahui vektor rata-rata untuk masing-masing kelas (Solutions, 2014). Metode ini dipilih karena menggunakan algoritma yang relatif sederhana namun memiliki hasil klasifikasi yang lebih baik

dibandingkan dengan metode klasifikasi lainnya yang tersedia pada *software* ENVI. Selain itu, nilai vektor masing-masing ROI juga tidak diasumsikan terdistribusi secara normal pada masing-masing *band* melainkan dihitung nilai rata-rata vektornya untuk masing-masing ROI. Untuk setiap metode klasifikasi memiliki ketergantungan pada seberapa akurat dalam penentuan ROI, semakin akurat ROI yang ditentukan maka semakin baik pula hasil yang didapat.

Hasil klasifikasi citra Landsat 8-OLI/TIRS ini kemudian akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan peta geologi secara keseluruhan.

5. HASIL DAN DISKUSI

Pembagian satuan batuan vulkanik pada daerah penelitian mengacu pada stratigrafi gunungapi Sandi Stratigrafi Indonesia (Martodjogo dan Djuhaeni, 1996) yang didasarkan pada atas sumber erupsi, waktu pembentukan batuan, ciri litologi yang teramati di lapangan dan hasil laboratorium, serta penamaan satuan tidak resmi. Penamaan sumber erupsi sebagai sumber material vulkanik ditentukan berdasarkan penamaan secara geografi dan disusun secara

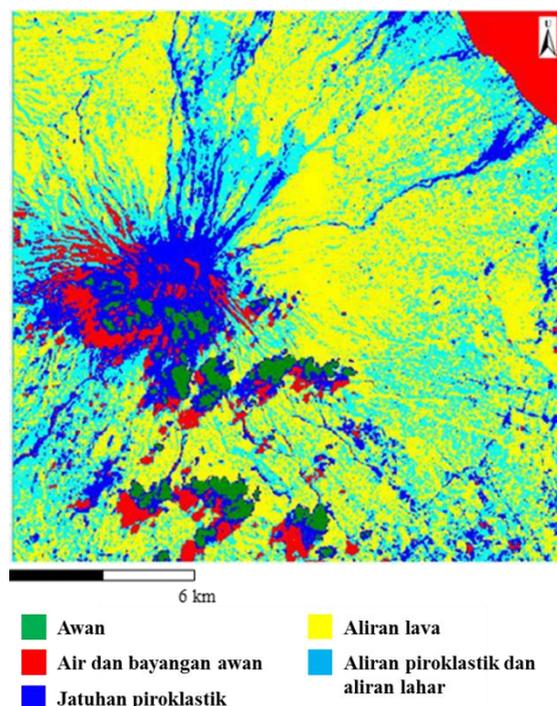
relatif dari yang berumur tua ke muda. Berdasarkan analisis visual citra Landsat 8-OLI/TIRS dan analisis geomorfologi, batuan vulkanik yang ada pada daerah penelitian berasal dari tiga pusat erupsi, yaitu Gunung Agung, Gunung Pawon, dan Gunung Seraya. Untuk Gunung Pawon diperkirakan sebagai hasil dari erupsi samping dari Gunung Agung yang membentuk morfologi berupa kerucut gununggapi.

Metode dalam menentukan umur relatif antar satuan batuan adalah dengan melihat pembagian satuan batuan dari hasil klasifikasi citra Landsat 8-OLI/TIRS, peta geomorfologi, dan peta topografi yang kemudian dihubungkan dengan observasi lapangan berupa kontak antar batuan. Berdasarkan analisis tersebut, dapat dibedakan bahwa produk vulkanik dari tua ke muda pada daerah penelitian adalah produk vulkanik Khuluk Seraya kemudian produk vulkanik Khuluk Agung. Pada Khuluk Agung terjadi dua jenis erupsi, yaitu erupsi pusat yang berpusat dari Gumuk Agung sendiri dan erupsi samping yang menghasilkan Gumuk Pawon yang berumur lebih muda.

Selain itu, berdasarkan observasi lapangan yang didukung dengan analisis petrografi, Khuluk Seraya menghasilkan produk vulkanik berupa lava andesit yang kemudian terpotong dan membentuk Gumuk Kondangdia. Khuluk Agung memiliki dua gumuk, yaitu Gumuk Agung dan Gumuk Pawon yang menghasilkan produk vulkanik berupa lava basalt, andesit, endapan piroklastik aliran, dan skoria yang dihasilkan dari letusan kerucut parasiter Pawon. Gumuk Agung juga menghasilkan produk vulkanik berupa endapan piroklastik jatuhan dan endapan lahar.

Hasil klasifikasi yang dilakukan sebelumnya telah mengelompokkan citra Landsat 8-OLI/TIRS ke dalam lima kelas yang sudah ditentukan sebelumnya (**Gambar 6**). Hasil klasifikasi tersebut masih perlu dikombinasikan dengan analisis lainnya, misalnya analisis geomorfologi untuk

mengoreksi hasil klasifikasi yang tidak sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan.



Gambar 6. Hasil klasifikasi terbimbing menggunakan metode *Minimum Distance Classification* dari citra Landsat 8-OLI/TIRS

Metode *Classification Accuracy Assessment* yang dilakukan untuk mengetahui nilai akurasi dari hasil klasifikasi terbimbing pada daerah penelitian dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\text{Nilai akurasi} = \frac{\text{Jumlah piksel yang benar}}{\text{Piksel keseluruhan}} \quad (1)$$

Jumlah piksel yang benar merupakan nilai yang berada pada kotak kuning dan piksel keseluruhan merupakan nilai yang berada pada kotak biru tua (**Tabel 1**). Sehingga, berdasarkan persamaan (1) didapatkan nilai akurasi untuk hasil klasifikasi pada daerah penelitian adalah 90%. Tingkat akurasi dari hasil klasifikasi yang berada diluar daerah penelitian dinilai dengan membandingkan hasil klasifikasi tersebut dengan Peta Geologi Gununggapi Agung (Nasution, dkk., 2014) yang diterbitkan oleh Direktorat Vulkanologi.

Tabel 1. Hasil perbandingan antara titik observasi lapangan dengan hasil klasifikasi pada setiap piksel menggunakan metode *Classification Accuracy Assessment*

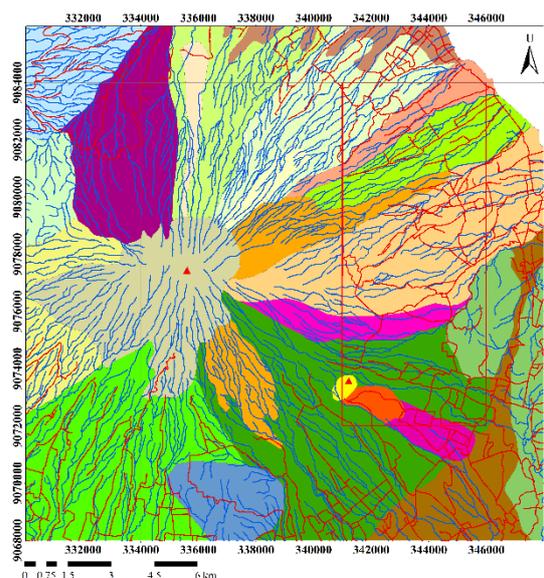
		Observasi Lapangan											
		Psk	Pl	Al 2	Aap 1	Kv	Al 3	Al 5	Aap 3	Al 6	Aap 5	Al 4	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Hasil Klasifikasi	Psk	1	1										1
	Pl	2		6	1								7
	Al 2	3		1	1	2							4
	Aap 1	4			1	17	2						20
	Kv	5				1	5						6
	Al 3	6					9						9
	Al 5	7				2	1	35	1				39
	Aap 3	8							21				21
	Al 6	9							1	12	1		14
	Aap 5	10									12		12
	Al 4	11										7	7
		1	7	3	22	5	12	35	23	12	13	7	140

dan Mitigasi Bencana Geologi. Hasilnya, satuan batuan yang berada diluar daerah penelitian relatif sama dengan Peta Geologi Gunungapi Agung.

Hasil klasifikasi citra Landsat 8-OLI/TIRS yang telah dilakukan kemudian dibagi menjadi beberapa satuan batuan untuk pembuatan peta geologi gunungapi yang juga didasarkan pada hasil pengamatan di lapangan. Untuk menentukan umur dari masing-masing satuan batuan dilakukan melalui analisis petrografi yang dihubungkan dengan kontak antar satuan batuan yang teramati di lapangan. Selain itu, juga dilakukan studi literatur untuk mendukung

hasil pembagian satuan batuan dari hasil klasifikasi khususnya pada satuan batuan yang berada diluar daerah penelitian.

Hasil akhir dari pemetaan digital melalui citra satelit menunjukkan produk vulkanik Gunung Agung terbagi menjadi 23 satuan batuan yang dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu kelompok vulkanik tua dan produk vulkanik Gunung Agung. Kelompok vulkanik tua terdiri dari Kelompok Kondangdia, Kelompok Cemara, dan Kelompok Tabis yang berumur Pleistosen. Sedangkan produk vulkanik Gunung Agung secara umum berumur Holosen (Nasution dkk., 2014) (**Gambar 7**).



Umur	Satuan Stratigrafi		Kegiatan Erupsi	Satuan Batuan			
	Khuluk	Gumuk		Endapan Primer			Endapan Sekunder
				Aliran Lava	Aliran Piroklastik	Jatuhan Piroklastik	
Kuartar	Agung	Pusat	Al 8	Aap 5	Ajp 2	Ab 2	
			Al 7	Aap 4	Ajp 1		
			Al 6				
			Al 5	Aap 3			
			Al 4	Aap 2			
			Al 3	Aap 1			
	Pawon	Samping	Pl			Ab 1	
			Pk				
	Agung	Pusat	Al 3				
			Al 2				
Al 1							
Batur	Batur		Bav				
	Tabis		Tv				
Cemara			Cv				
	Kondangdia		Kv				

Gambar 7. Peta geologi Gunungapi Agung dan sekitarnya beserta kolom volkanostratigrafi yang menunjukkan umur antar satuan batuan.

6. KESIMPULAN

Citra Landsat 8-OLI/TIRS digunakan untuk mendeteksi fitur-fitur geologi yang terdapat di Gunung Agung, seperti morfologi gunungapi, pola kelurusan, dan produk gunungapi. Citra Landsat 8-OLI/TIRS efektif untuk mengenali morfologi gunungapi pada daerah penelitian. Namun, citra ini belum efektif untuk menentukan perbedaan litologi, khususnya pada daerah dengan tutupan vegetasi yang sangat tinggi. Volkanostratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi dua khuluk, yaitu Khuluk Agung yang memiliki satu gumuk, yaitu Gumuk Pawon dan Khuluk Seraya yang memiliki satu gumuk, yaitu Gumuk Kondangdia. Berdasarkan hasil klasifikasi citra Landsat 8-OLI/TIRS yang didukung dengan observasi lapangan dan studi literatur, Gunung Agung terbagi menjadi 23 satuan batuan yang terdiri dari produk vulkanik berupa endapan aliran piroklastik, endapan jatuhnya piroklastik, aliran lava, dan endapan lahar.

DAFTAR PUSTAKA

- Darman, H. dan Sidi, F. H. (2000): An outline of the geology of Indonesia, *Proceedings IAGI Vol. 20th, Indonesia*.
- Lillesand, T. M. dan Kiefer, R. W. (1987): *Remote Sensing and Image Interpretation, fifth edition*, John Wiley and Sons, Inc., Toronto.
- Martodjojo, S., dan Djuhaeni (1996): *Sandi Stratigrafi Indonesia*, Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, IAGI, Jakarta, pp. 1-36.
- Nasution, A., Haerani, N., Mulyadi, D., dan Hendrasto, M. (2004): Peta Geologi Gunungapi Agung, Bali, Direktorat Vulkanologi: Indonesia.
- Nasution, A., Haerani, N., Mulyadi, D., dan Hendrasto, M. (2004): Laporan Pemetaan Geologi G. Agung, Direktorat Vulkanologi.
- Purbo-Hadiwidjoyo, M. M., Samodra, H., dan Amin, T. C. (1998): Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.
- Silver, E. A., Breen, N. A., dan Prasetyo, H. (1986): Multibeam study of the flores back arc thrust belt, Indonesia, *Journal of Geophysical Research, Vol. 91, No. B3*, pp. 3489-3500.
- Solutions, E. V. (2014): Classification Methods, dalam E. V. Solutions, *ENVI Classic Tutorial* (hal. 1- 26), *EXELIS: Visual Information Solutions*.
- USGS. 2015. Citra Landsat 8-OLI TM daerah Bali, citra diunduh dari <http://earthexplorer.usgs.gov>. Diunduh pada tanggal 13 Maret 2018.
- van Zuidam, R. (1985): *Guide to Geomorphic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, International Institute of Aerospace Survey and Earth Science (ITC): The Hague.