

Penilaian bahaya lahar Gunung Salak

(Suatu pendekatan morfometri)

Lahar hazard assessment of Salak Volcano

(A morphometric approach)

Rusdi Muhardi, Boedi Tjahjono, dan D.P. Tejo Baskoro

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB

Jln. Meranti, Wing 12 Level 5, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

ABSTRAK

Salak merupakan gunung api strato tipe A aktif di Provinsi Jawa Barat. Sejak letusan pada tahun 1938 sampai sekarang, gunung api ini jarang menunjukkan aktivitas yang signifikan, namun gunung api ini masih berbahaya bagi daerah sekitarnya. Salah satu bahaya vulkanik Salak yang sangat penting adalah bahaya lahar, karena curah hujan tahunan relatif tinggi, dan sebagian besar wilayah di sekitar lembah sungai di daerah distal terdapat pemukiman. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi geomorfologi Gunung api Salak, serta menilai bahaya lahar menggunakan pendekatan morfometri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Cikuluwung memiliki tingkat bahaya lahar tertinggi (84,74 %), apalagi sungai terhubung langsung ke kawah aktif, yaitu Kawah Ratu. Karena kawah terletak di bagian lereng yang lebih rendah, maka lahar bisa mengalir menuju daerah distal dengan lebih cepat dari puncak, sehingga pengelolaan daerah distal di sekitar lembah Sungai Cikuluwung (terutama kawasan pemukiman) memerlukan konsep yang spesifik.

Kata kunci: bahaya lahar, Gunung api Salak, morfometri, Sungai Cikuluwung

ABSTRACT

Salak is an a type of active stratovolcano in West Java Province. Since its eruption of 1938 until now, the volcano rarely showed significant activity, however the volcano is still dangerous for the surrounding area. One of important volcanic hazards for Salak is lahar hazard, since the annual rainfall is relatively high and most of river valleys in distal areas and the surrounding occupied by settlements. The purpose of this study is to identify the geomorphological condition of Salak Volcano, and to assess lahar hazard using morphometric approach. The results showed that Cikuluwung River has the highest level of lahar hazard (84,74 %), moreover the river is directly connected to active crater, the so-called Kawah Ratu. Since the crater is located in lower flank, the lahar can flow toward the distal area faster than usual (from the peak), so the management of distal area around the Cikuluwung River valley (especially the settlement areas) require specific concepts.

Keywords: lahar hazard, Salak Volcano, morphometry, Cikuluwung

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gunung api Salak adalah salah satu gunung api strato aktif tipe A di Provinsi Jawa Barat yang terletak tidak jauh (60 km) dari Jakarta, ibu kota Negara Indonesia. Jarak yang tidak jauh ini menyebabkan gunung api ini dapat menjadi ancaman bagi Jakarta jika terjadi letusan. Thouret, 2000 menyebutkan bahwa kota-kota besar dunia yang terancam bencana adalah Kairo, Jakarta, Manila, Lima, Los Angeles, Meksiko, dan Tokyo. Analisis maupun prediksi bahaya erupsi gunung api selalu dihadapkan pada ketidakpastian, baik dari segi waktu, besaran letusan, serta pola sebaran bahaya vulkaniknya. Ketidakpastian tersebut dapat menjadikan penilaian bahaya menjadi lebih rumit dan kompleks. Apalagi, jika ditambah dengan minimnya data atau catatan sejarah letusan yang pernah terjadi. Namun demikian, prediksi bahaya vulkanik sangatlah penting dan mendesak dilakukan untuk mendukung perencanaan wilayah maupun program manajemen risiko guna meminimalkan dampak letusan di waktu yang akan datang.

Hartmann (1938) mengingatkan bahwa Gunung api Salak dan gunung api lain di sekitarnya merupakan gunung api yang memiliki periode istirahat yang panjang. Kondisi tersebut sekaligus memberi indikasi bahwa sewaktu-waktu gunung gunung api tersebut dapat melepaskan energinya serta menunjukkan kekuatan letusannya. Dalam rentang waktu antara tahun 1699–1938 Gunung api Salak tercatat mengalami beberapa kali letusan, namun letusan terakhir diketahui pada tahun 1938. (Tabel 1)

Tabel 1. Catatan Sejarah Letusan Gunung api Salak tahun 1699–1938

Tahun Letusan	Sumber Letusan	Jenis Letusan	VEI
1699	Salak 1	Magmatik	?
1780	Kawah Ratu	Freatik	2
1902	Kawah Ratu	Freatik	2
1919	Kawah Ratu	Freatik	2
1935	Kawah Cikuluwung Putri	Freatik	2
1938	Kawah Cikuluwung Putri	Freatik	2

Proses erupsi dapat menghasilkan beberapa bahaya (*multi-hazard*), baik secara langsung maupun tidak langsung yang dapat mengancam kehidupan dan lingkungan di sekitarnya. Salah satu diantara bahaya tersebut adalah bahaya lahar, terlebih jika terjadi banjir lahar yang meluap keluar dari lembah sungai dan menutup wilayah pertanian, wilayah terbangun, serta infra-struktur lain yang ada. Vallance *et al.* (2001) menjelaskan bahwa bahaya lahar terjadi ketika air permukaan memobilisasi material sisa erupsi gunung api berupa abu vulkanik, batu, pasir, dan kerikil, serta puing-puing vulkanik lainnya melalui lembah sungai dengan volume yang besar. Dengan kata lain, penilaian tingkat bahaya sangatlah bergantung pada sebaran dan ukuran partikel, serta tingkat akumulasi tefra (*tephra*) yang merupakan material hasil letusan pada tubuh gunung api.

Faktor geomorfologi gunung api dan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) juga sangat menentukan dalam penilaian bahaya lahar. Pendekatan ini pernah dilakukan Swardana

(2014) dalam melakukan studi geomorfologi untuk pemodelan bahaya lahar di Gunung Kelud. McClung (2005) lebih jauh menyatakan bahwa metode penilaian bahaya lahar melibatkan studi yang sangat kompleks dan rinci terkait dengan distribusi material, volume dan komposisi, serta mekanisme pola aliran DAS yang terkait dengan geomorfologi gunung api. Semua informasi tersebut dapat dikalibrasi dalam suatu model untuk meramalkan bahaya lahar.

Metode penilaian bahaya lahar telah berkembang, di antaranya adalah pemodelan dengan metode komputerisasi (*computational model*), seperti LAHARZ (Munoz-Salinas *et al.* 2009) dan Titan 2D (Sheridan *et al.* 2005). Begitu pula pemodelan yang dilakukan oleh Huggel *et al.* (2008) dan Hubbard *et al.* (2008) yang terkait dengan pengujian akurasi data *digital elevation model* (DEM) untuk penilaian bahaya lahar. Pada umumnya, pengujian model dilakukan melalui perbandingan serta estimasi data riil setelah terjadinya letusan gunung api. Hasil pengujian tersebut kemudian dijadikan sebagai asumsi dasar untuk memprediksi bahaya letusan di kemudian hari. Dengan demikian sejarah letusan masa lalu adalah salah satu faktor lain yang sangat penting dalam penilaian bahaya. Menurut Avolio *et al.* (2010) rekonstruksi sejarah letusan masa lalu dapat dilakukan melalui proses kompilasi data, peta, atau informasi lain seputar peristiwa letusan masa lalu yang kemudian dapat divalidasi kembali melalui pemetaan bentuklahan (*landform*).

Terkait dengan sejarah, Gunung api Salak merupakan salah satu gunung api di Indonesia yang tidak mempunyai banyak catatan sejarah atau dokumen letusan masa lalu. Oleh karena

itu untuk memetakan daerah bahaya vulkanik, atau bahaya lahar khususnya, bukanlah pekerjaan mudah, sehingga diperlukan suatu pendekatan tertentu sesuai dengan ketersediaan data yang ada pada gunung api tersebut. Data penginderaan jauh terkait dengan elevasi lahan kini telah berkembang dan banyak tersedia di internet secara gratis, demikian pula dengan pemanfaatan DEM untuk berbagai tujuan semakin berkembang. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk memanfaatkan data DEM untuk membangun model penilaian bahaya lahar.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi geomorfologi (bentuklahan) Gunung api Salak, dan membangun model morfometri untuk memprediksi bahaya lahar Gunung api Salak.

METODOLOGI

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan selama bulan September 2012 hingga September 2013. Lokasi penelitian mencakup Gunung api Salak dan sekitarnya, dengan batas terluar berada pada radius 20 km dari pusat letusan (Kawah Ratu) dan mengambil batas terluar wilayah administrasi kecamatan dalam radius tersebut. Secara administratif, Gunung api Salak meliputi dua wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Bogor dan Kabupaten Sukabumi.

Metode Analisis

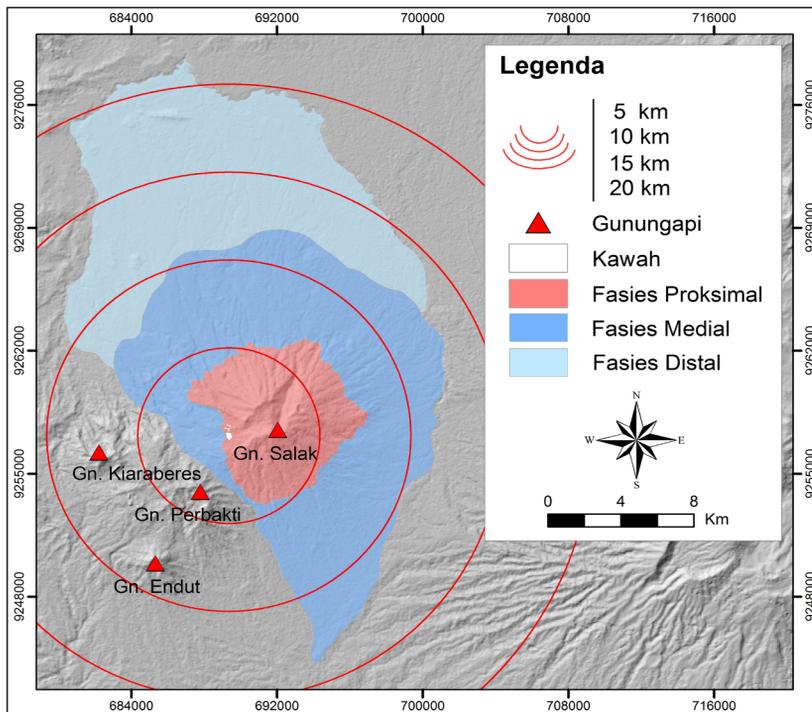
Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil verifikasi lapangan, sedangkan data sekunder diambil dari beberapa sumber, yaitu data DEM

ASTER (30 m), peta geologi Gunung api Salak skala 1:50.000 (Zaennudin, dr., 1993), dan laporan-laporan pengamatan dan penyelidikan gunung api yang bersumber dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVM-BG). Alat pengolah data yang digunakan berupa komputer dengan software sistem informasi geografi, serta alat-alat dokumentasi lain untuk survei lapangan.

Kajian geomorfologi mengutamakan pada identifikasi bentuklahan melalui interpretasi visual data DEM yang dibantu dengan data geologi dan peta kontur (interval 25 m). Berdasarkan geomorfologinya, tubuh gunung api dapat dibedakan menjadi beberapa fasies. Bronto (2006) menjelaskan bahwa fasies gunung api terdiri atas fasies sentral (daerah puncak), fasies proksimal (lereng atas), fasies medial (lereng

bawah), dan fasies distal (kaki dan dataran di sekeliling gunung api).

Gunung api Salak memiliki bentuk kerucut komposit yang telah mengalami proses ubahan secara priodik sehingga dalam bentuknya saat ini, fasies sentral terdiri dari tiga puncak. Kondisi tersebut menyebabkan sulitnya menentukan batas fasies sentral gunung api. Namun untuk penilaian bahaya lahar dalam penelitian ini, fasies Gunung api Salak dibagi menjadi tiga, yaitu fasies proksimal, medial, dan distal, dengan batas fasiesnya dipilahkan berdasarkan bentuklahan gunung api. Daerah fasies proksimal terdiri dari daerah puncak dan lereng atas kerucut vulkanik, sedangkan untuk daerah fasies medial terdiri dari lereng tengah dan lereng bawah. Daerah fasies distal berada pada *lereng kaki vlvio-vulkanik* (Gambar 1).



Gambar 1. Daerah fasies proksimal, medial, dan distal Gunung api Salak.

Metode analisis yang dijadikan dasar dalam pemodelan morfometri bahaya lahar adalah volume Tephra, kecepatan drainase, Gradien sungai, dan kelengkungan aliran (Tabel 2).

Daerah fasies proksimal dan medial yang merupakan daerah tangkapan material vulkanik akan banyak berpengaruh terhadap bahaya lahar di daerah fasies distal (Gambar 2). Ketika air hujan dan aliran permukaan memobilisasi material vulkanik melalui lembah sungai, maka kondisi geomorfologi gunung api dan karakteristik DAS pada daerah fasies proksimal dan medial sangat mempengaruhi aliran lahar ke daerah fasies distal sebagai daerah terdampak oleh aliran lahar.

Daerah Fasies Proksimal-Medial

Daerah fasies proksimal-medial adalah daerah tangkapan material (piroklastik atau tefra) yang juga merupakan lokasi sumber terbentuknya

lahar. Oleh karena itu, model untuk memprediksi besarnya volume material yang tersedia digunakan rumusan sebagai berikut:

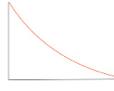
Indikator Ketersediaan Tefra

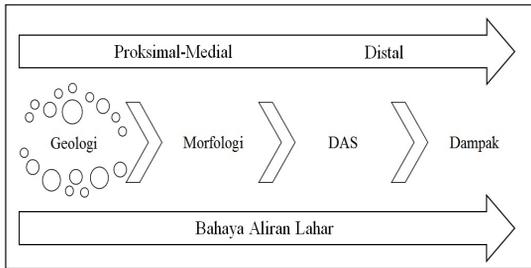
$$HZtefra = \frac{V}{C} \dots\dots\dots (1)$$

dengan, *HZtefra* merupakan faktor ketersediaan tefra pada daerah fasies proksimal-medial, V merupakan volume total tefra pada daerah fasies proksimal-medial, dan C merupakan jarak antara sumber letusan ke wilayah DAS yang berada pada daerah fasies proksimal-medial.

Dengan menggunakan software Erup3 (Wohletz, 1999) volume tefra yang dihasilkan dilakukan melalui proses tujuh kali kalibrasi, dengan asumsi bahwa distribusi ukuran partikel akan variatif berdasarkan gradasi penurunan ukuran partikel, yaitu 500 mm, 300 mm, 100

Tabel 2. Dasar Metode Analisis

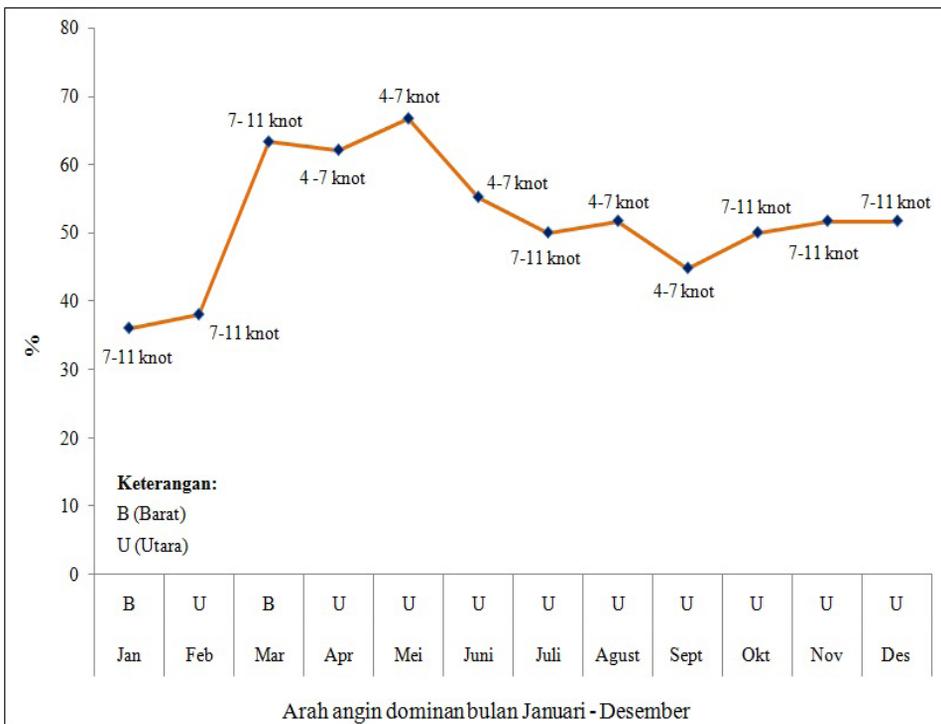
Analisis	Rumus	Keterangan	Referensi	Ilustrasi
Volume Tephra	$V = \frac{dV}{dt} T$	Volume total Volume Ukuran partikel Durasi waktu	V (m ³) dV (m ³) dt (mm) T (menit) (Connor <i>et al.</i> 2011)	
Kerapatan drainase	$D = \frac{A}{L}$	Kerapatan Drainase Total panjang aliran sungai Luas DAS	D (km/km ²) L (km) A (km ²) (Asdak. 2010)	
Gradien sungai	$G = \frac{E_{max} - E_{min}}{Pa}$	Gradien sungai Elevasi titik hulu sungai Elevasi titik hilir sungai Panjang aliran sungai utama	G (m/km) Emax (m) Emin (m) Pa (km) (Nagel <i>et al.</i> 2006)	
Kelengkungan aliran (<i>stream sinuosity</i>)	$S = \frac{d}{p}$	Kelengkungan aliran Panjang sungai utama Panjang lembah sungai utama	S (m/km) d (m) p (km) (Kedareswari <i>et al.</i> 2013)	



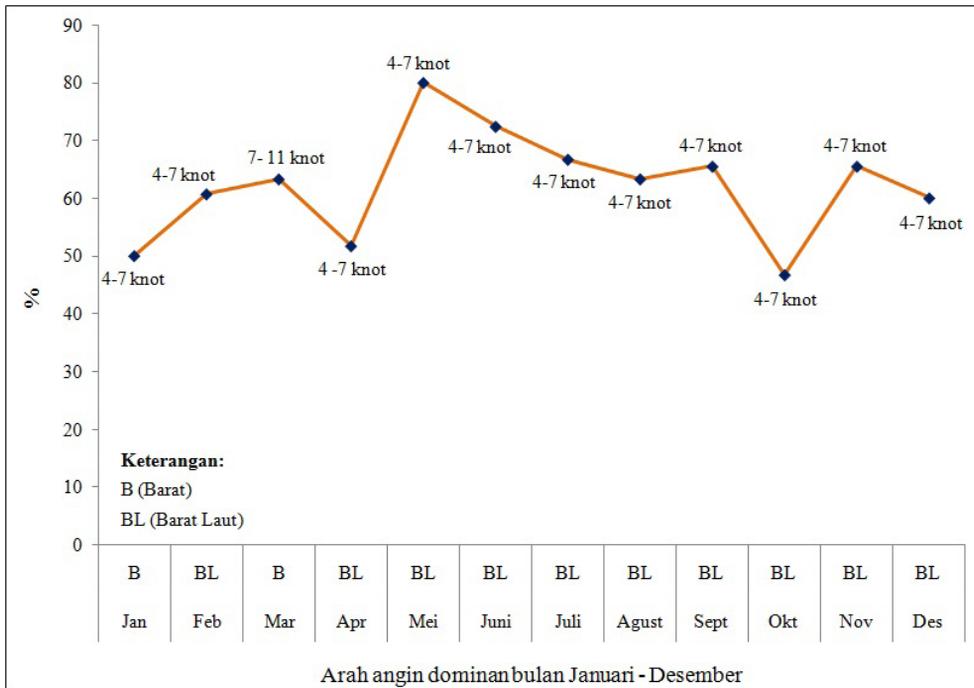
Gambar 2. Hubungan daerah fasies proksimal-medial dan distal.

mm, 30 mm, 10 mm, 1 mm, dan 0,5 mm, dengan jarak antararea distribusi masing-masing sekitar 1,5 km. Tinggi kolom letusan diasumsikan setinggi ± 10 km (sub-plinian) dan rata-rata kecepatan angin di daerah fasies proksimal-medial = 11 knot (berdasarkan data klimatologi).

Data angin diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kelas I Dramaga Bogor yang meliputi data rata-rata arah dan kecepatan angin dominan (bulanan). Data tersebut adalah data tahun 2012 yang diambil dari dua stasiun (St) pengamatan, yaitu stasiun Dramaga dan stasiun Citeko (Gambar 3 dan Gambar 4), dan merupakan data angin terlengkap untuk satu tahun pengukuran. Meskipun ada keterbatasan data angin ini, namun diharapkan data tersebut dapat digunakan untuk merepresentasikan pola arah dan kecepatan angin dominan pada Gunung api Salak. Kedua stasiun tersebut, yaitu St. Dramaga berlokasi di sebelah utara Gunung api Salak, dan St. Citeko berlokasi di sebelah timur Gunung api Salak.



Gambar 3. Persentase arah dan kecepatan angin dominan (St. Dramaga) Hubungan daerah fasies proksimal-medial dan distal.



Gambar 4. Persentase arah dan kecepatan angin dominan (St. Citeko).

Selanjutnya, volume yang dihasilkan dari proses kalibrasi dibagi dengan ukuran partikel yang ditentukan secara gradual (500 mm, 300 mm, 100 mm, 30 mm, 10 mm, 1 mm, dan 0,5 mm). Hasil dari perbandingan tersebut kemudian dikalikan dengan durasi waktu, yaitu 1 jam (60 menit) sebagai asumsi batas waktu pengukuran total volume. Berdasarkan parameter tersebut di atas, hasilnya dapat menggambarkan total volume atau tingkat akumulasi tefra pada daerah fasies proksimal-medial. Untuk melihat sejauh mana tingkat akumulasi tefra pada masing-masing DAS, maka selanjutnya total volume tersebut dibagi dengan jarak masing-masing DAS ke sumber letusan. Hasil dari kalibrasi ini menggambarkan total tingkat akumulasi tefra di daerah fasies proksimal-medial.

Indikator Morfometri DAS

$$HZdas = D \cdot G \dots\dots\dots (2)$$

dengan, *HZdas* merupakan faktor morfometri DAS pada daerah fasies proksimal-medial, *D* merupakan kerapatan drainase, dan *G* merupakan gradien sungai utama. Penilaian ini akan menghasilkan tingkat kompleksitas DAS yang terkait dengan ancaman lahar. Dengan menggabungkan hasil penilaian dari indikator ketersediaan tefra dan morfometri DAS, maka untuk mendapatkan nilai bahaya lahar pada daerah fasies proksimal-medial, dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$HZpm = \frac{V \cdot D \cdot G}{C} \dots\dots\dots (3)$$

dengan, HZ_{pm} merupakan bahaya lahar pada DAS daerah fasies proksimal-medial, sedangkan V , D , G masing-masing adalah total volume tefra, kerapatan drainase, dan gradien sungai utama, yaitu merupakan tiga parameter yang memiliki indikasi bahaya meningkat jika nilai semakin tinggi, sedangkan C yang merupakan jarak antara sumber letusan ke wilayah DAS, memiliki indikasi sebaliknya, yaitu semakin jauh jarak maka semakin menurunkan tingkat bahaya lahar.

Indikator penilaian morfometri DAS yang digunakan dalam metode penelitian ini merupakan indikator yang secara relatif tidak mengalami perubahan secara signifikan, baik sebelum letusan terjadi, selama letusan, maupun setelah letusan. Hal ini dikarenakan bahaya lahar (aliran maupun banjir lahar) juga terkait erat dengan faktor curah hujan, dimana faktor ini tidak mudah diprediksi selama periode letusan berlangsung, sehingga membutuhkan tingkat akuisisi dan akurasi data yang tinggi. Namun sebagai asumsi secara umum, dalam rancangan tata ruang wilayah (RTRW) Kabupaten Bogor 2005-2025, dan RTRW Kabupaten Sukabumi 2011-2031, dijelaskan bahwa rata-rata curah hujan tahunan di daerah fasies proksimal-medial Gunung api Salak sangatlah tinggi, yaitu berkisar antara 4.500-6.000 mm/tahun. Curah hujan tersebut meliputi beberapa DAS pada daerah fasies proksimal, medial, dan distal yang masuk dalam wilayah penelitian (Gambar 5).

DAS tersebut terdiri dari beberapa sub-DAS yang ada pada ketiga daerah fasies Gunung api Salak. Sub-DAS tersebut kemudian digabungkan sehingga membentuk beberapa DAS dimana sungai utamanya berhulu di Gunung api Salak. Tiap DAS memiliki sungai utama yang

berada dalam satu kesatuan sistem aliran dari hulu yaitu daerah fasies proksimal, hingga daerah hilir yaitu fasies distal.

Daerah Fasies Distal

Bahaya aliran lahar pada daerah fasies distal sangat terkait faktor-faktor bahaya pada daerah fasies proksimal-medial, terutama terkait dengan daya tampung lembah sungai dan pengendapan material lahar. Dalam konteks ini, khusus untuk indikator kelengkungan sungai utama sangat mempengaruhi tingkat pengendapan material lahar. Penilaian morfometri lembah sungai pada daerah fasies distal dilakukan dengan persamaan:

$$Metridistal = \frac{Sdis}{L} \dots\dots\dots (4)$$

dengan, $Metridistal$ merupakan karakteristik morfometri lembah sungai daerah fasies distal, $Sdis$ merupakan tingkat kelengkungan sungai pada daerah fasies distal, dan L merupakan rata-rata daya tampung lembah sungai utama pada daerah fasies distal. Adapun rata-rata daya tampung lembah sungai utama diukur melalui persamaan:

$$L = \frac{\sum Ut. \sum Ul}{5} Pa \dots\dots\dots (5)$$

dengan, L merupakan rata-rata daya tampung lembah sungai, $\sum Ut$ merupakan tinggi penampang, $\sum Ul$ merupakan lebar penampang, dan Pa merupakan panjang aliran sungai utama pada daerah fasies distal. Angka 5 menunjukkan jumlah sampel yang diambil dari tiap segmen sungai utama pada daerah fasies distal.

Karakteristik kelengkungan sungai utama pada daerah distal bersifat menurunkan kecepatan

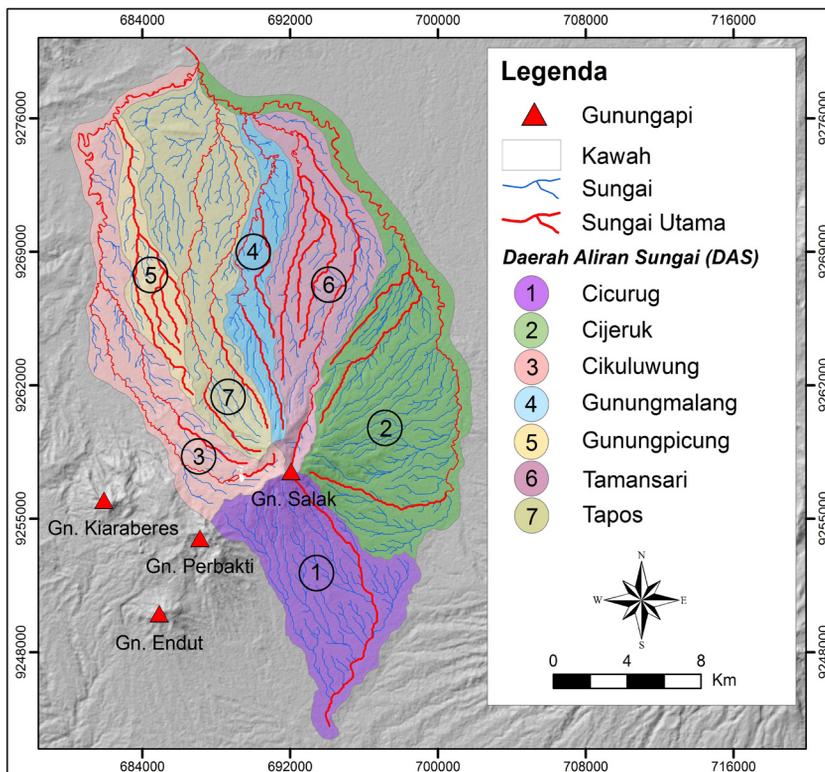
aliran lahar sehingga berpotensi untuk mende-
 posisikan lahar di dasar lembah. Oleh karena
 itu, kelengkungan berdampak pada pengura-
 ngan daya tampung lembah sungai, sehingga
 semakin tinggi nilainya maka akan meningkat-
 kan peluang pengendapan yang selanjutnya ber-
 rakibat pada pengurangan daya tampung, dan
 terjadinya perluasan lahar keluar lembah (ban-
 jir lahar). Karakteristik nilai *L* memiliki indikasi
 semakin tinggi nilainya, maka akan semakin
 menekan peluang terjadinya banjir lahar.

Bahaya lahar daerah fasies distal merupakan
 suatu rasio antara bahaya lahar pada daerah
 fasies proksimal-medial (Persamaan 3) dengan
 karakteristik morfometri lembah sungai pada

daerah fasies distal (persamaan 4). Oleh karena
 itu, penilaian bahaya lahar dilakukan dengan
 persamaan:

$$HZ_{distal} = \frac{HZ_{pm}}{Metridistal} \dots\dots\dots (6)$$

dengan, *HZ_{distal}* merupakan bahaya lahar daerah
 fasies distal, *HZ_{pm}* merupakan bahaya la-
 har pada DAS daerah fasies proksimal-medial,
 sedangkan *Metridistal* merupakan karakteristik
 morfometri lembah sungai di daerah fasies dis-
 tal. Nilai total *HZ_{distal}* mengindikasikan baha-
 wa semakin besar nilai, maka semakin tinggi
 tingkat bahaya lahar, dan jika sebaliknya, maka
 semakin rendah tingkat bahaya lahar.



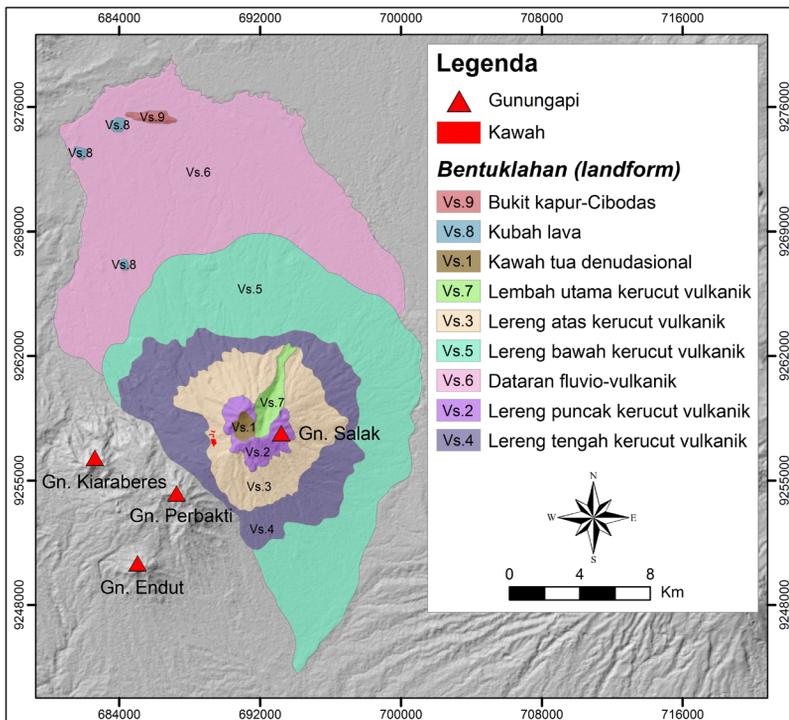
Gambar 5. DAS dan sungai utama di wilayah penelitian.

PEMBAHASAN

Geomorfologi Gunung Api Salak

Hasil interpretasi geomorfologi menunjukkan bahwa di daerah penelitian terdapat sembilan bentuklahan, yaitu kawah tua denudasional (Vs.1) dengan luas 1,58 km², lereng puncak kerucut vulkanik (Vs.2) dengan luas 7,99 km², lereng atas kerucut vulkanik (Vs.3) dengan luas 41,58 km², lembah utama kerucut vulkanik (Vs.7) dengan luas 4,75 km², lereng tengah kerucut vulkanik (Vs.4) dengan luas 58,34 km², lereng bawah kerucut vulkanik (Vs.5) dengan luas 134,05 km², dataran fluvio-vulkanik (Vs.6) dengan luas 160,55 km², kubah lava (Vs.8) dengan luas 1,30 km², dan bukit kapur-Cibodas (Vs.9) dengan luas 1,47 km² (Gambar 6).

Berdasarkan morfologinya, tubuh gunung api ini mempunyai elevasi antara 400–2.211 m dpl. Pada bagian puncak, tampak tidak utuh lagi karena telah mengalami perubahan morfologi oleh proses destruksi letusan masa lalu serta proses denudasi yang mengikutinya. Salah satu hasil dari proses tersebut adalah terbentuknya lembah utama (Vs.7) yang lebar dan dalam. Lembah tersebut menyerupai tapal kuda membentang dari bagian puncak ke arah timur-laut dan dicirikan oleh lereng-lerengnya yang curam. Kawah aktif yang biasanya terdapat pada bagian puncak tidak meninggalkan indikasi yang jelas, namun kawah tua yang sudah tidak aktif (Vs.1) dapat ditemui di bagian sisi barat dari ujung puncak lembah utama. Lokasi kawah aktif yang ada sekarang terdapat pada lereng tengah yang terdiri atas tiga titik aktivitas,



Gambar 6. Bentuk lahan Gunung Api Salak.

diberi nama Kawah Ratu, Kawah Hirup, dan Kawah Paeh. Dari pengamatan lapangan Kawah Ratu merupakan kawah terbesar dibandingkan dengan dua kawah lainnya meskipun ketiganya menunjukkan aktivitas *hydrothermal*.

Berdasarkan posisi kawah tua dan aktif ini, maka dapat disimpulkan bahwa migrasi titik aktivitas vulkanik (kawah) telah terjadi pada gunung api ini, yaitu dari puncak ke bagian samping kerucut vulkanik meskipun belum diketahui sejak kapan terjadinya. Bentuk lahan kerucut vulkanik dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu lereng puncak, lereng atas, lereng tengah, dan lereng bawah berdasarkan perbedaan kemiringan lereng secara umum. Kerucut vulkanik merupakan bentuk lahan yang berjarak paling dekat dengan pusat letusan (kawah) dan terbentuk secara bertahap sejak letusan pertama. Bersamaan dengan perkembangannya, proses denudasi berjalan secara aktif mengiringinya sehingga menghasilkan kikisan berpola radial pada tubuh gunung api tersebut. Salah satu kikisan besar yang tampak pada DEM adalah lembah utama.

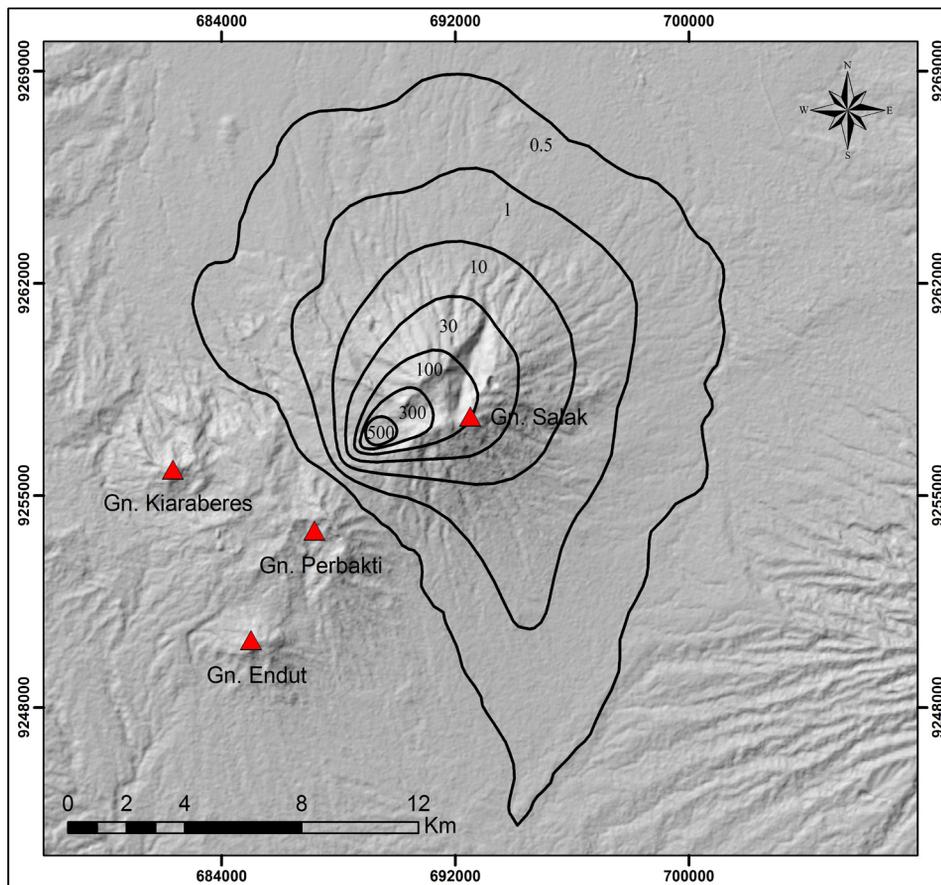
Jika melihat polanya, lembah utama ini tampak lurus, sehingga sangat mungkin jika perkembangannya banyak dikontrol oleh suatu kelurusan (*lineament*) yang melintas di bawahnya. Bagian yang paling bawah dari tubuh gunung api merupakan dataran fluvio-vulkanik yang dicirikan oleh relief landai hingga datar, berada cukup jauh dari pusat letusan (lereng kaki), dan terbentuk oleh proses fluvial dengan material utama vulkanik dari Gunung api Salak. Dengan demikian secara umum dataran ini merupakan wilayah proses deposisi dari aliran-aliran lahar.

Bahaya Lahar Gunung api Salak

Daerah Fasies Proksimal-Medial

Bahaya lahar yang terbentuk di daerah fasies proksimal-medial lebih ditentukan oleh persebaran abu vulkanik yang dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin dominan. Hal tersebut dengan asumsi bahwa kondisi angin di kemudian hari pada saat letusan terjadi adalah mirip dengan kondisi arah angin dominan tahun 2012 dan ukuran partikel terdistribusi secara gradual mengikuti jarak dari sumber letusan sesuai arah angin, maka pola distribusi tefra pada daerah fasies proksimal-medial dapat diprediksi seperti yang disajikan pada Gambar 7.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin jauh jarak dari pusat letusan, maka ukuran partikel semakin kecil, sedangkan ketebalan endapan partikel sebaliknya, yaitu berbanding terbalik dengan jarak dari sumber letusan. Gradasi penurunan ukuran partikel antara 500 mm hingga 0,5 mm, dengan jarak antar ukuran partikel sekitar 1,5 km. Prediksi ini merupakan konsep umum dan mengambil asumsi letusan bersifat konstan dan total waktu jatuhnya abu vulkanik pada daerah fasies proksimal-medial adalah 1 jam atau 60 menit. Tabel 3 menyajikan hasil perhitungan pemodelan terkait dengan volume tefra yang diendapkan pada setiap DAS di kerucut vulkanik. Volume ini selanjutnya akan menjadi ancaman aliran lahar yang dapat terbentuk pada periode pasca letusan. Hasil analisis morfometri DAS pada daerah fasies proksimal-medial menunjukkan bahwa DAS Cijeruk memiliki kerapatan drainase tertinggi, yaitu sebesar 2.335 m/km², sedangkan untuk DAS Cicurug memiliki kerapatan drainase



Gambar 7. Pola distribusi tefra pada daerah proksimal-medial.

Tabel 3. Persentase Distribusi Tefra Pada Tiap DAS

No	DAS	Volume (m ³)	Jarak dari Sumber Letusan	HZtefra	%
1.	Cicurug	66.069.241	6,92	9.547.578	5,52
2.	Cijeruk	138.303.780	9,45	14.635.321	8,47
3.	Cikuluwung	268.277.939	4,19	64.028.148	37,04
4.	Gunungmalang	105.285.287	7,63	13.798.858	7,98
5.	Gunungpicung	204.895.687	8,08	25.358.377	14,67
6.	Tamansari	188.673.808	8,62	21.887.912	12,66
7.	Tapos	144.694.974	6,13	23.604.400	13,66
Total				172.860.594	

terendah yaitu sebesar 313 m/km². Adapun untuk kecuraman sungai utama dari keseluruhan DAS pada daerah fasies proksimal-medial, sungai utama DAS Gunungmalang merupakan yang paling curam, yaitu sebesar 86,47 m/km², sedangkan kecuraman terendah ada pada sungai utama DAS Gunungpicung (Gambar 8).

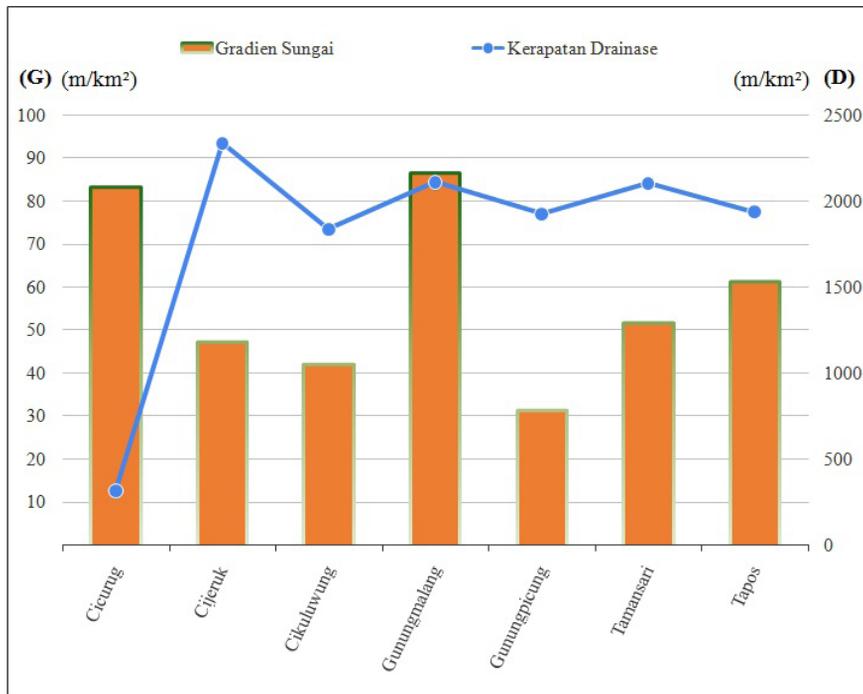
Dari hasil analisis bahaya lahar daerah fasies proksimal-medial, didapatkan bahwa DAS Cikuluwung tergolong memiliki tingkat bahaya tinggi untuk melahirkan aliran lahar (30,80%) dibandingkan dengan DAS lainnya di daerah fasies proksimal-medial, seperti Cijeruk, Gunungmalang, Tamansari, dan Tapos, sedangkan bahaya yang paling rendah terdapat di DAS Cicurug (Tabel 4 dan Gambar 9).

Tabel 4. Persentase Tingkat Bahaya Lahar Daerah Proksimal-medial

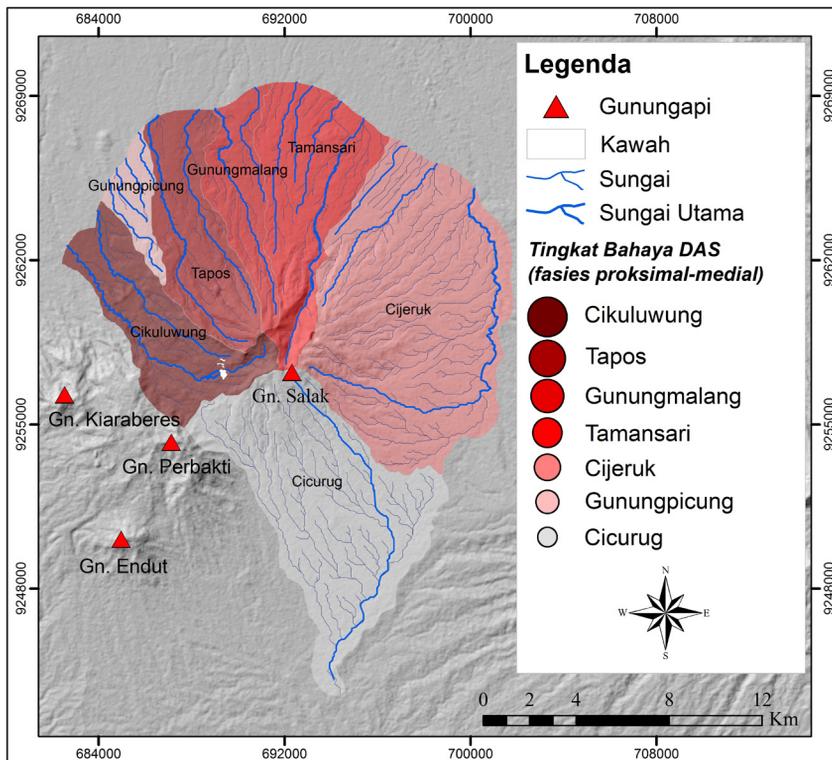
No	DAS	Hrpm	%
1.	Cicurug	218.171	1,55
2.	Cijeruk	1.614.917	10,08
3.	Cikuluwung	4.933.824	30,80
4.	Gunungmalang	2.216.417	15,71
5.	Gunungpicung	1.536.081	9,59
6.	Tamansari	2.374.860	14,82
7.	Tapos	2.796.246	17,45
Total		16.020.516	

Daerah Fasies Distal

Kompleksitas bahaya lahar pada daerah fasies proksimal-medial secara otomatis akan mempengaruhi bahaya di daerah fasies distal.



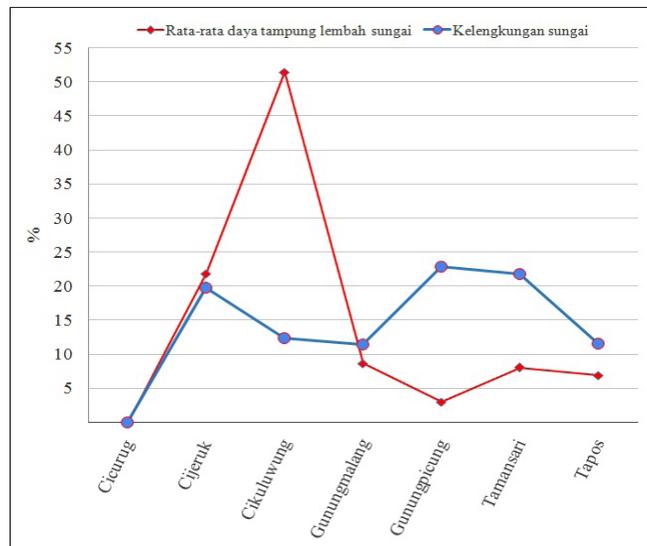
Gambar 8. Gradien sungai dan kerapatan drainase DAS proksimal-medial.



Gambar 9. Bahaya lahar daerah proksimal-medial.

Hal ini disebabkan oleh sifat dari bahaya lahar itu sendiri yang secara umum terjadi di sepanjang aliran sungai utama dan merupakan satu kesatuan dari sistem pengaliran pada setiap DAS. Beberapa variabel yang perlu dianalisis untuk penilaian bahaya lahar di daerah fasies distal adalah karakteristik morfometri sungai utama, yaitu daya tampung dan kelengkungan sungai. Berdasarkan hasil analisis morfometri, diketahui bahwa sungai yang memiliki tingkat kelengkungan tinggi adalah sungai Gunungpicung, yaitu sebesar 22,84%, diikuti oleh sungai Tamansari (21,78%), sungai Cijeruk (19,87%), sungai Cikuluwung (12,40%), sungai Tapos (11,59%), dan yang terendah adalah sungai Gunungmalang (11,52%). Khusus untuk sungai Cicurug diberi angka 0 dikarenakan su-

ngai ini tidak memiliki daerah fasies distal, dimana sistem aliran sungainya menyatu dengan aliran sungai-sungai lain yang daerah hulunya bersumber dari gunung api lain di sekitar Gunung api Salak. Adapun daya tampung rata-rata sungai utama di daerah fasies distal yang bernilai besar adalah sungai Cikuluwung, yaitu 51,44%, kemudian diikuti oleh sungai Cijeruk (21,86%), Gunungmalang (8,70%), Tamansari (8,05%), Tapos (6,93%), dan yang terendah adalah sungai Gunungpicung (3,02%). Sungai Cikuluwung dan Cijeruk merupakan sungai yang relatif lebar dengan kisaran antara 8-18 m. Kondisi inilah yang menyebabkan kedua sungai tersebut memiliki rata-rata luas penampang yang besar termasuk daya tampungnya. Gambar 10 memperlihatkan persentase tingkat



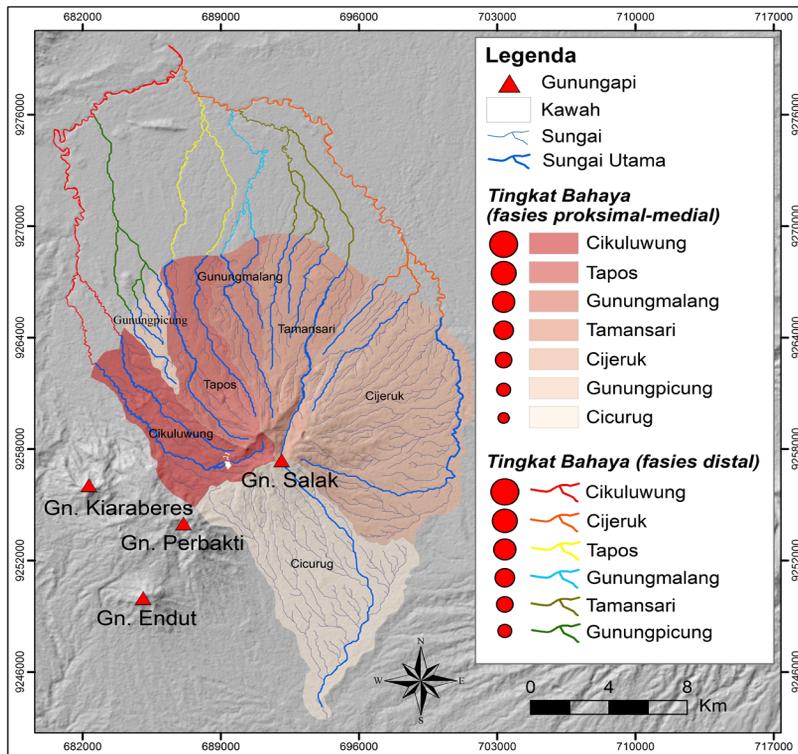
Gambar 10. Persentase tingkat kelengkungan dan rata-rata daya tampung lembah sungai daerah fasies distal.

kelengkungan sungai utama pada daerah distal serta rata-rata daya tampung lembah sungai terkait. Cikuluwung memiliki tingkat bahaya yang paling tinggi yaitu 84,74%. Selain itu, tingkat bahaya yang tergolong tinggi juga berada pada Sungai Cijeruk dengan tingkat bahaya yaitu sebesar 6,35%. Adapun yang termasuk kategori tingkat bahaya rendah adalah sungai Gunungpicung dan Cicurug (Tabel 5 dan Gambar 11). Walaupun Sungai Cikuluwung memiliki daya

tampung yang besar serta kelengkungan sungai yang relatif kecil, sungai ini tetap memiliki potensi bahaya banjir lahar. Hal ini dikarenakan sungai ini memiliki sistem pengaliran yang terhubung langsung dengan sumber letusan di daerah fasies proksimal, yaitu Kawah Ratu. Dengan kondisi demikian, maka apabila turun hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu yang lama, sungai ini akan lebih aktif menghasilkan aliran lahar.

Tabel 5. Persentase Tingkat Bahaya Lahar Daerah Fasies Distal

No.	DAS	H _{zpm}	Metridistal	H _{zdistal} (%)
1.	Cicurug	248.171	0,00000	0,00
2.	Cijeruk	1.614.917	0,00012	6,35
3.	Cikuluwung	4.933.824	0,00003	84,74
4.	Gunungmalang	2.516.417	0,00038	3,00
5.	Gunungpicung	1.536.081	0,00292	0,24
6.	Tamansari	2.374.860	0,00064	1,70
7.	Tapos	2.796.246	0,00032	3,96



Gambar 11. Bahaya lahar daerah fasies distal.

KESIMPULAN

Sungai Cikuluwung merupakan sungai yang mempunyai tingkat bahaya lahar yang paling tinggi, yaitu 84,74 % dan sungai ini memiliki sistem pengaliran yang terhubung langsung dengan sumber letusan (Kawah Ratu). Dengan demikian pengelolaan daerah distal di sekitar aliran Sungai Cikuluwung (terutama wilayah permukiman) memerlukan kecermatan tersendiri, apalagi sumber letusan (kawah) berada pada lereng tengah (tidak berada di puncak gunung api), sehingga waktu tempuh aliran lahar mencapai daerah distal semakin pendek atau cepat. Gunung api Salak memiliki periode istirahat yang panjang, sehingga proses denudasi merupakan proses yang aktif mendukung perkem-

bangannya. Lembah utama yang terbuka lebar dan mengarah ke arah timur laut merupakan salah satu contoh aktifnya proses denudasi sehingga lembah ini mempunyai ukuran paling besar, meskipun faktor lain seperti kelurusan (*lineament*) yang melintas di bawahnya, diduga ikut berperan mempercepat perkembangannya, melalui proses erosi dan longsor.

DAFTAR PUSTAKA

Asdak, C., 2010, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 630 h.

Avolio, M.V., Ambrosio, D.D., Lupiano, V., Rongo, R., dan Spataro, W., 2010, *Evaluating Lava Flow*

Hazard at Mount Etna (Italy) by a Cellular Automata Based Methodology. PPAM 2009, Part II, LNCS 6068, p. 495–504.

Bronto, S., 2006, Fasies gunung api dan aplikasinya. *Jurnal Geologi Indonesia* v.1, No. 2, p. 59–71.

Connor, C.B., Hill, B.E., Winfrey, B., Franklin, N.M., Femina, P.C.L., 2001, *Estimation of Volcanic Hazards From Tephra Fallout*. *Natural Hazards Review*, p. 33–42.

Hartmann, M.A., 1938, *Kelompok Gunung api Di Sebelah Baratdaya Gunung Salak*, Jawa Barat. Perpustakaan Direktorat Vulkanologi (PVMBG), Bandung, 53 h.

Hubbard, B.E., Sheridan, M.F., Carrasco-Núñez, G., Díaz-Castellón, R., Rodríguez, S.R., 2007, Comparative lahar hazard mapping at Volcan Citlaltépetl, Mexico using SRTM, ASTER and DTED-1 digital topographic data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.160, p. 99–124.

Huggel, C., Schneider, D., Miranda, P.J., Granados, H.D., dan Kaab, A., 2008, Evaluation of ASTER and SRTM DEM data for lahar modeling: A case study on lahars from Popocatepetl Volcano, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.170, p. 99–110.

Kedareswarudu, U., Aravind., U.S., dan Chattopadhyay, M., 2013, Analysis of Watershed Characteristics and Basin Management Using RS and GIS: A Case Study from Upper Provenance of Karamana River, Trivendrum District, Kerala. *International Journal of Remote Sensing and Geoscience (IJRSRG)*, v.2, issue.1, p. 36–41.

Munoz-Salinas, E., Castillo-Rodríguez, M., Manea, V., Manea, M., Palacios, D., 2010, Lahar flow simulations using LAHARZ program: Application for

the Popocatepetl volcano, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.182, p. 13–22.

McClung, S.C., 2005, Lahar Hazard Mapping of Mount Shasta, California: *A GIS-based Delineation of Potential Inundation Zones in Mud and Whitney Creek Basins [Thesis]*. Oregon (OR): Oregon State University, 82 p.

Nagel, D., Buffington, J., Isaak, D., 2006, *Comparison of Methods for Estimating Stream Channel Gradient Using GIS*. Boise Aquatic Sciences Lab Publications, 53 p.

Swardana, A., 2014, *Studi Geomorfologi Kabupaten Kediri dan Pemodelan Bahaya Lahar Gunung Kelud [Skripsi]*. Indonesia (ID): Institut Pertanian Bogor. 36 h.

Sheridan, M.F., Stinton, A.J., Patra, A., Pitman, E.B., Bauer, A., dan Nichita, C.C., 2008, Evaluating Titan2D mass-flow model using the 1963 Little Tahoma Peak avalanches, Mount Rainier, Washington. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v.139, p. 89–102.

Thouret, J.C., 2000, Urban hazards and risks; consequences of earthquakes and volcanic eruptions: an introduction. *GeoJournal* v.49, p. 131–135.

Vallance, J.W., Schilling., Devoli, G., dan Howell, M.M., 2001, *Lahar Hazards at Concepcion Volcano, Nicaragua*. U.S. Geological Survey, 13 p.

Wohletz, K., 1999, KWare Erupt3 User Page. <http://www.ees.lanl.gov/geodynamics/Wohletz/Erupt-User.htm> [20 April 2013]

Zaennudin, A.I.S., Sutawidjaja. I.S., dan Aswin, D., 1993, *Peta Geologi Gunung api Salak, Jawa Barat*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

