

**APLIKASI MODEL PROBABILISTIK UNTUK  
SIMULASI ALIRAN MATERIAL ERUPSI  
STUDI KASUS: GUNUNG MERAPI, JAWA TENGAH  
(APPLICATION OF PROBABILISTIC MODEL FOR ERUPTION  
MATERIAL FLOW SIMULATION  
CASE STUDY: MERAPI VOLCANO, CENTRAL JAVA)**

**Fajar Yulianto dan Parwati**

Peneliti Bidang Lingkungan dan Mitigasi Bencana, LAPAN

e-mail: [fajar.lapan.rs@gmail.com](mailto:fajar.lapan.rs@gmail.com)

Diterima 16 Februari 2012; Disetujui 14 Juni 2012

**ABSTRACT**

Simulation of eruption material flow using probabilistic model based on the Monte Carlo algorithm was conducted in this research. The simulation result was used to support the creation of zoning map of volcanic hazards and the estimation of building number which has possibility to be impacted by the Merapi Volcano eruption. Input data for the simulation was Digital Elevation Model - Shuttle Radar Topographic Mission (DEM-SRTM) with a spatial resolution of 30 meters. In addition, GeoEye satellite imagery in 2009 was used to renew settlement information of the RBI map from BAKOSURTANAL. The simulation result of material flow eruption was overlaid with building area information to estimate the magnitude of eruption impact. The simulation results from this research has similar pattern and similar eruption material distribution with the reference map (volcanic hazard map of Merapi). The flow of Merapi eruption material generally leads to the south through the Gendol Rivers to Cangkringan, and to the southwest ward through the Putih Rivers to Srumbung. Material flow eruption is shown in height simulations 2 meters and 7 meters. The wider and widening of the of simulation models material flow eruption generated, the greater impact on the settlements in the vicinity of Merapi Volcano.

Key word: *Simulation of eruption material flow, DEM-SRTM, volcanic hazard, Merapi Volcano*

**ABSTRAK**

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi model probabilistik aliran material erupsi berdasarkan algoritma *Monte Carlo*. Hasil simulasi digunakan untuk mendukung pembuatan peta zonasi potensi bencana vulkanik dan perhitungan jumlah unit bangunan yang diperkirakan terkena dampak letusan Gunung Merapi. Data yang digunakan untuk simulasi aliran material erupsi adalah *Digital Elevation Model - Shuttle Radar Topographic Mission* (DEM-SRTM) dengan resolusi spasial 30 meter. Selain itu, digunakan citra satelit Geoeeye tahun 2009 untuk memperbaharui informasi permukiman dari peta RBI BAKOSURTANAL. Hasil dari simulasi aliran material erupsi ditumpang susun dengan informasi permukiman untuk penentuan besarnya dampak erupsi. Hasil simulasi dari penelitian ini mempunyai pola dan sebaran hasil erupsi yang hampir sama dengan peta referensi (*volcanic hazard map of Merapi*). Aliran material erupsi Merapi umumnya lebih mengarah ke wilayah selatan melalui Kali Gendol menuju Kecamatan Cangkringan dan ke arah barat daya melalui Kali Putih

menuju Kecamatan Srumbung. Aliran material tersebut tampak pada simulasi ketinggian erupsi 2 m maupun 7 m. Semakin luas dan melebarnya hasil simulasi model aliran material erupsi yang dihasilkan, maka semakin besar pula dampaknya terhadap permukiman di sekitar Gunung Merapi.

Kata Kunci: *Simulasi aliran material erupsi, DEM SRTM, bencana vulkanik, Gunung Merapi*

## 1 PENDAHULUAN

Indonesia berdasarkan kondisi geografis dan geologi merupakan negara yang rentan terhadap bencana alam. Dengan lokasi yang berdekatan dan dikelilingi oleh lempeng tektonik Pasifik, Eurasian dan Indo-Australian, menjadikan Indonesia rentan terhadap bencana gempa bumi dan gunung api. Indonesia mempunyai 129 gunung api aktif yang tercatat dalam sejarah erupsi. Pada 48 kejadian erupsi gunung api, telah tercatat lebih dari 17.900 korban jiwa dan 344 juta US\$ kerugian secara ekonomis (EM-DAT, 2009; Tandang, 2010).

Gunung Api Merapi atau yang dikenal dengan *Merapi Stratovolcano*, di Provinsi Jawa Tengah, dengan puncak ketinggian  $\pm$  2965 m, merupakan salah satu gunung api paling aktif di dunia. Merapi yang secara administrasi terletak 30 km di sebelah utara Yogyakarta mempunyai lebih dari 61 sejarah erupsi sebelum Tahun 2000. Gunung Merapi terbentuk karena adanya aktivitas zona subdaksi Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke bawah Lempeng Eurasia dan menyebabkan munculnya aktivitas vulkanik di sepanjang bagian tengah Pulau Jawa (Volcanological Survey of Indonesia, 1990; Lavigne, 2000).

Kejadian erupsi Gunung Merapi menyebabkan beberapa kerugian diantaranya: kerusakan lingkungan, korban jiwa, harta benda, dan lain-lain. Berdasarkan catatan sejarah, beberapa dampak dari kejadian erupsi telah terinventarisasi sejak tahun 1822. Sebelum tahun 1900 kejadian erupsi Merapi tercatat melanda 5 desa dengan

korban jiwa lebih dari 100 orang, muntahan erupsi Merapi tersebut mengalir di beberapa sungai diantaranya Sungai Senowo, Pabelan, Blongkeng, Lamat, Woro, dan Trising. Berdasarkan sumber dari <http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi> di sepanjang tahun 1920, 1932, 1961, 1969, 1973, 1974, 1975, 1976, 1994, 1995, 1996, dan 1998 hingga tahun 2010 telah tercatat lebih dari 300 korban jiwa, dan lebih dari 500 rumah hancur akibat erupsi yang terjadi (Lavigne, 1998; Lavigne, 2000). Tabel 1-1 menunjukkan catatan sejarah erupsi merapi dan dampaknya dari tahun 1822 hingga 2010.

Kejadian erupsi Merapi dari tahun 1672 – 1997 terdiri dari beberapa tipe, yaitu: *Explosions*, *Pyroclastic Flows*, *Pyroclastic Surge*, *Dome Growth*, *Material erupsi Flow*, dan *Debris Flows* (Neumann van Padang, 1931, 1933; Hartmann, 1935; Van Bemmelen, 1949; Berita Berkala Vulkanologi, 1990; Siswamidjono *et al.*, 1995; Lavigne *et al.*, 2000; Thouret *et al.*, 2000). *Explosions*, merupakan tipe erupsi pelepasan energi dan ledakan secara ekstrim, dengan suhu tinggi. *Pyroclastic Flows*, tipe erupsi yang berupa campuran abu, batu apung, fragmen batuan panas dan gas partikel halus hingga kasar dengan kerapatan tinggi yang bergerak cepat selama erupsi berlangsung. *Pyroclastic Surge*, tipe erupsi berupa massa fluida gas dan fragmen batuan yang dikeluarkan selama erupsi. Hal ini mirip dengan aliran piroklastis tetapi memiliki kerapatan yang lebih rendah.

*Dome Growth*, tipe erupsi berupa tonjolan atau gundukan berbentuk

kasar melingkar dan dihasilkan oleh material erupsi kental yang terekstrusi secara lambat selama erupsi. *Material erupsi Flow*, tipe erupsi berupa batuan cair yang dikeluarkan selama erupsi dengan suhu 700 °C sampai 1200 °C. Memiliki kekentalan 100 ribu kali lipat

dari air dan dapat mengalir jauh sebelum pemadatan dan pendinginan. *Debris Flows*, tipe erupsi berupa aliran puing-puing material vulkanik yang bergerak cepat dan dipicu oleh curah hujan.

Tabel 1-1: CATATAN SEJARAH DAN DAMPAK ERUPSI MERAPI DARI TAHUN 1822– 2010

<b>Erupsi</b>	<b>Aliran sungai</b>	<b>Korban jiwa</b>	<b>Dampak</b>	<b>Sumber</b>
28 Desember 1822	Se, Pa, Bl, La, Wo	Lebih dari 100	4 Desa	Alrasjid (1971)
5 Oktober 1888	Tr, Se	-	1 Desa	Neuman Van Padang (1936)
12 October 1920	Se, Bl, Ba	35	1 Desa	Kemmerling (1921)
7 April 1932	Ba	-	1 Desa	Schmidt (1934)
27 – 28 November 1961	Se, Bl, Ba	-	5 Desa, 95 rumah	Suryo (1981)
7 – 8 Januari 1969	Se, Pa	-	2 Desa, 38 rumah	Siswowidjojo (1971)
	Bl, Pu	-	4 Desa, 15 rumah	Siswowidjojo (1971)
	Be, Kr	3	6 Desa, 239 rumah	Siswowidjojo (1971)
	Bo, Co	-	2 Desa	Siswowidjojo (1971)
	Ku	-	2 Desa	Siswowidjojo (1971)
	Ge	-	9 Desa, 390 rumah	Siswowidjojo (1971)
	Wo	-	6 Desa	Siswowidjojo (1971)
19 Januari 1969	Be	-	12 Rumah	Hadikusumo (1970)
20 Januari 1969	Pu	-	10 Rumah	Hadikusumo (1970)
22 Januari 1969	Pu	-	15 Rumah	Hadikusumo (1970)
23 Januari 1969	Bl	-	3 Rumah	Hadikusumo (1970)
26 Januari 1969	Se, Pu, Be, Kr	-	10 Rumah	Hadikusumo (1970)
5 April 1969	Pu	-	39 Rumah	Hadikusumo (1970)
22 September 1973	Be	-	3 Rumah	MVO reports
26 January 1974	Be	-	9 Rumah	MVO reports
22 October 1974	S	-	6 Rumah	MVO reports
22 November 1974	Pu, Be, Kr, Bo, Ku	-	43 Rumah	KR (25/11/1974)
6 Desember 1974	Kr	-	14 Rumah	MVO reports
5 Maret 1975	Kr	-	102 Rumah	Harto (1975), KR (6-7/3/1975)
22 Maret 1975	Kr	-	12 Rumah	MVO reports
4 Oktober 1975	Pu, Be, Kr	-	5 Desa, 20 rumah	Reksowirogo (1975)
25 November 1976	Pu	-	3 Desa	Harto (1975, 1977)
	Be	-	17 Rumah	KR (26/11/1976)
	Kr	29	306 Rumah, 4 gedung	KR (26/11/1976)
Oktober 1994	-	60	-	<a href="http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi">http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi</a>
11 Desember 1994	Be	-	2 Truk	KR (12/12/1994)
2 Februari 1995	Be	-	3 Truk	KR (3/2/1995)

20 Mei 1995	Be	-	8 Truk	KR (21/5/1995)
5 Desember 1996	Bo	-	14 Truk	KR (6/12/1996)
Juli 1998	-	-	-	<a href="http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi">http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi</a>
2001 - 2003	-	-	-	<a href="http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi">http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi</a>
Oktober - November 2010	-	273	-	<a href="http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi">http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi</a>

**Keterangan:**

KR=Kedaulatan Rakyat (berita lokal); MVO=Merapi Volcano Observatory; Se=Senowo; Kr=Krasak; Tr=Trising; Bo=Boyong; Pa=Pabelan; Co=Code; La=Lamat; Ku=Kuning; Bl=Blongkeng; Ge=Gendol; Pu=Putih;Wo=Woro; Ba=Batang; Be, Bebung

Sumber : Modifikasi (Lavigne, 1998; Lavigne, 2000) dan (<http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi>)

Terdapat beberapa pendekatan dan metode penelitian yang pernah dilakukan terkait pembuatan peta bahaya vulkanik (*volcanic hazard maps*), seperti: pemetaan resiko dari *tephra fallout* (Barberi *et al.*, 1990 dan Connor *et al.*, 2001), pemetaan bahaya aliran material erupsi menggunakan simulasi komputer (Wadge *et al.*, 1994), aplikasi GIS untuk pemetaan estimasi aliran material erupsi (Kauahikaua *et al.*, 1995), prediksi bahaya untuk *explosions* vulkanik (Saito *et al.*, 2001), metode evaluasi untuk resiko *long-term volcanic* dari aliran piroklastis (Alberico *et al.*, 2002), pemetaan aliran piroklastis menggunakan simulasi pemodelan numerik (Esposti, O., *et al.*, 2002, Cioni *et al.*, 2003, dan Rosano *et al.*, 2004), pemodelan bahaya *ash fall volcanic* dengan metode *Monte Carlo* (Hurst and Smith, 2004), metodologi GIS untuk pemetaan bahaya *pyroclastic density currents* atau PDC (Toyos *et al.*, 2007), pendekatan dan pemodelan bahaya aliran material erupsi (Felpeto *et al.*, 2007).

Peta bahaya vulkanik merupakan peta sumber daya yang menentukan kondisi geografis suatu wilayah, hal ini berpengaruh terhadap seberapa besar wilayah tersebut dipengaruhi oleh fenomena aktivitas vulkanik yang mungkin terjadi. Peta bahaya vulkanik, dapat diklasifikasikan menjadi beberapa zona berdasarkan probabilitas kerusakan dalam periode waktu tertentu, namun

biasanya peta tersebut dibuat berdasarkan subjektifitas interpretasi data historis. Felpeto *et al.*, 2007 telah melakukan penelitian terkait sistem otomatisasi untuk elaborasi pemetaan dan skenario bahaya vulkanik. Metodologi simulasi numerik digunakan untuk melakukan pemetaan proses erupsi. Sistem tersebut dikembangkan dalam *framework* Sistem Informasi Geografis (SIG), dimana model simulasi numerik dari bahaya vulkanik yang berbeda dapat diintegrasikan. Simulasi numerik bahaya vulkanik yang dilakukan, meliputi: model aliran material erupsi, sebaran abu vulkanik (*ash fallout*), dan kepadatan arus piroklastis (*pyroclastic density currents*).

Pada penelitian ini, simulasi numerik bahaya vulkanik difokuskan pada model aliran material erupsi berdasarkan catatan kejadian historis yang pernah terjadi di daerah penelitian. Fokus dari penelitian ini adalah aplikasi model probabilistik simulasi aliran material erupsi seperti yang dipergunakan oleh Felpeto *et al.*, 2007. Tujuan dari penelitian ini adalah mengaplikasikan model probabilistik simulasi aliran material erupsi berdasarkan algoritma *Monte Carlo* untuk mendukung pembuatan peta zonasi potensi bahaya vulkanik dan menghitung estimasi dampak bahaya terhadap kondisi unit bangunan di daerah penelitian dari simulasi model yang dihasilkan.

## 2 DATA DAN METODOLOGI

Secara umum, metode yang digunakan dalam penelitian ini bukanlah sesuatu hal yang baru. Penelitian ini mengaplikasikan suatu model probabilistik simulasi aliran material erupsi dengan algoritma *Monte Carlo*. Hasil dari model yang diterapkan digunakan sebagai input atau masukan dalam menentukan daerah bahaya erupsi di daerah penelitian. *Volcanic Risk Information System* (VORIS) adalah sebuah tool berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan dalam penelitian ini untuk pendekatan pemetaan bahaya vulkanik. Tujuan utamanya adalah untuk menyediakan informasi peta dan resiko bahaya vulkanik berdasarkan simulasi numerik yang telah dikembangkan oleh Felpeto *et al.*, 2007.

Data yang digunakan untuk menjalankan simulasi aliran material erupsi dalam penelitian ini adalah Citra satelit *Digital Elevation Model-Shuttle Radar Topographic Mission* (DEM-SRTM) dengan resolusi spasial 30 meter. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 dari BAKOSURTANAL digunakan dalam penelitian ini untuk inventarisasi informasi lokasi bangunan dalam menentukan dampak erupsi di daerah penelitian. Lokasi bangunan dalam Peta RBI diperoleh berdasarkan interpretasi Foto Udara tahun 1991 dan survey lapangan 2001, selanjutnya pada tahun 2007 dilakukan survey lapangan untuk update informasi di tahun 2007. Citra Geoeye tahun 2009 digunakan untuk update informasi lokasi bangunan di tahun 2009. Informasi unit bangunan dalam penelitian ini terdiri atas: bangunan rumah penduduk, perkantoran, sekolah, rumah sakit, dan beberapa fasilitas umum lainnya. Hasil dari simulasi aliran material erupsi ditumpang susun dengan informasi lokasi bangunan untuk penentuan besarnya dampak erupsi.

Model simulasi aliran material erupsi yang dipergunakan dalam penelitian ini merupakan model probabilistik, yang mengasumsikan bahwa kondisi topografi mempunyai peranan penting dalam mensimulasikan atau menentukan jalannya aliran material erupsi. Model dibuat untuk menghitung beberapa peluang dari sebuah sel piksel yang mungkin terjadi aliran, dengan asumsi dua aturan sederhana, yaitu: aliran hanya dapat merambat dari satu piksel sel ke salah satu dari delapan piksel sel tetangganya jika perbedaan ketinggian topografinya adalah positif, dan kemungkinan untuk berpindah dari satu piksel sel ke piksel sel tetangganya adalah proporsional dengan perbedaannya (Felpeto *et al.*, 2007). Penentuan probabilitas aliran material erupsi dalam penelitian ini menggunakan algoritma *Monte Carlo* (Felpeto, 2009), yang disajikan dalam persamaan 2-1.

$$P_i = \frac{\Delta h_i}{\sum_{j=1}^8 \Delta h_j} \quad (2-1)$$

Dimana: Kondisi topografi direpresentasikan pada nilai ketinggian ( $h$ ) sebuah sel piksel pada data DEM. Jika aliran terletak dalam sel piksel ( $i=0$ ), maka probabilitas peluang aliran yang masuk dalam salah satu delapan sel disekitarnya adalah ( $P_i$ ), dimana ( $i=1,2, \dots, 8$ ).  $\Delta h$  mewakili perbedaan ketinggian antara sel piksel satu dengan sel piksel tetangganya. Dalam estimasi perbedaan, koreksi ketinggian ( $h_c$ ) ditambahkan dengan tinggi sel piksel pada saat aliran tersebut berada. Oleh karena itu ( $\Delta h_i$ ) dapat dievaluasi berdasarkan persamaan 2-2 dan 2-3.

$$\Delta h_i = h_o + h_c - h_i \quad \text{if } (h_o + h_c - h_i) > 0 \quad (2-2)$$

$$\Delta h_i = 0 \quad \text{if } (h_o + h_c - h_i) \leq 0 \quad (2-3)$$

$H_c$  adalah sebuah nilai parameter yang menggambarkan dan mensimulasi-

kan pengaruh atau efek dari ketinggian aliran material erupsi (Felpeto et al. 2007). Pada persamaan 2, jika ketinggian di pixel tetangga ( $h_i$ ) lebih rendah dibandingkan dengan ketinggian di piksel awal ( $h_0$ ), maka semakin tinggi nilai  $h_c$  yang digunakan akan memberikan nilai selisih yang tinggi antara ke-2 piksel tersebut. Hal ini berarti peluang terjadinya aliran pada pixel tetangga menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan piksel lain yang mempunyai selisih ketinggian yang lebih rendah terhadap ketinggian di piksel awal. Jika ada banyak piksel mempunyai  $\Delta h_i$  maka wilayah yang mempunyai peluang aliran material erupsi menjadi lebih luas wilayahnya dan semakin jauh jangkauannya. Pada kajian ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan  $h_c$  sebesar 2 m dan 7 m.

Selain itu, pada Persamaan 2-2 dan 2-3 jika tinggi topografi sel piksel ( $i$ ) lebih tinggi dari ketinggian awal, maka ketinggian sel piksel tersebut akan dikoreksi oleh ketinggian sel piksel dimana aliran tersebut berada. Probabilitas atau peluang terjadinya aliran untuk merambat ke sel piksel ( $i$ ) adalah nol, hal ini menunjukkan bahwa aliran tidak dapat merambat ke atas. Algoritma *Monte Carlo* digunakan untuk menghitung pemilihan sel piksel dimana aliran akan merambat dan menghitung probabilitas untuk delapan sel piksel tetangga bernilai nol. Aliran akan berhenti jika sebuah sel piksel yang telah dikoreksi memiliki ketinggian lebih rendah dari delapan sel piksel tetangganya. Dalam kasus aliran material erupsi yang sebenarnya, sel piksel ini akan terpendam atau tenggelam, kemudian diisi oleh aliran berikutnya. Untuk menghindari atau menghentikan aliran material erupsi dalam situasi seperti itu, model tersebut akan mengevaluasi kedua persamaan sebelumnya untuk enam belas sel-sel piksel yang mengelilingi delapan sel piksel aslinya

dengan mempertimbangkan sel piksel ( $i=0$ ) dimana aliran tersebut berada. Jika terdapat sel-sel piksel seperti ini maka aliran dapat jalan terus, jika tidak akan berhenti. Pada prinsipnya, peluang suatu sel piksel untuk dapat dialiri oleh material erupsi dihitung berdasarkan rasio atau perbandingan antara jumlah sel telah dialiri terhadap total sel yang dihitung.

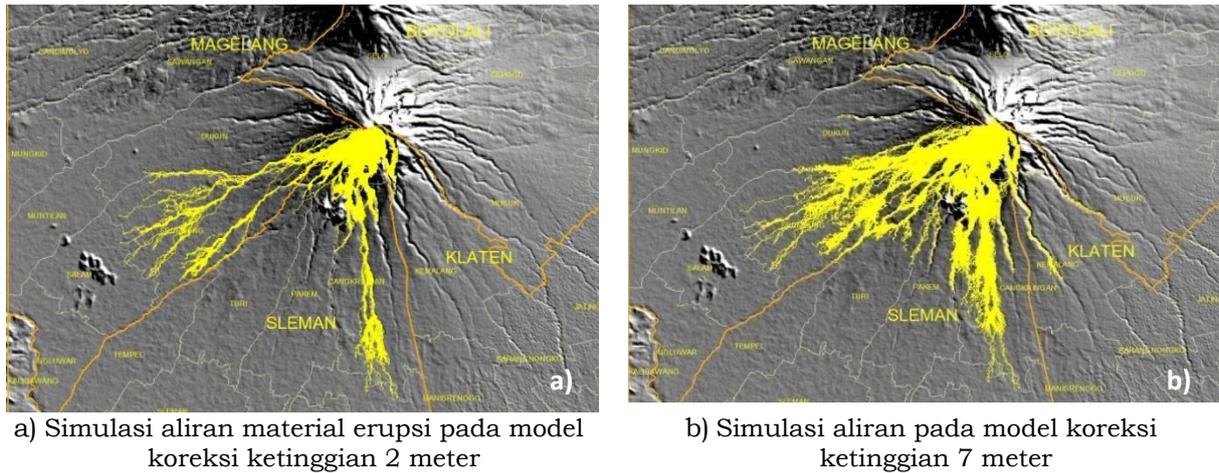
Dalam penelitian ini, proses perhitungan iterasi dimulai dari titik puncak Gunung Merapi dengan *vent coordinate* 438967 mT dan 9166209 mU pada proyeksi *Universal Transverse Mercator (UTM) 49S*. Perhitungan radius jarak sejauh 13,3 km dari *vent coordinate* puncak merapi dipergunakan dalam penelitian ini sebagai batas maksimum berhentinya proses perhitungan iterasi. Hal ini dilakukan berdasarkan *histories* sejarah erupsi di daerah penelitian dari tahun 1587 hingga 1998 dari penelitian Lavigne, et al., 1998; Lavigne, et al., 2000 bahwa pernah terjadi erupsi sejauh 2 km (tahun 1940) hingga 13,3 km (tahun 1969). Batas maksimum iterasi 13,3 km digunakan dalam penelitian ini untuk menjalankan simulasi model. Selanjutnya, dilakukan pemodelan simulasi aliran material erupsi pada koreksi ketinggian 2 meter dan 7 meter. Hal ini didasarkan pada penelitian "*Histories Eruption of Merapi, Central Java, Indonesia 1768 – 1998*" yang dilakukan oleh Voight, B., et al., 2000.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan probabilitas aliran material erupsi dalam penelitian ini menggunakan algoritma *Monte Carlo*. Model simulasi yang dibuat merupakan model probabilistik, yang mengasumsikan bahwa kondisi topografi mempunyai peranan penting dalam menentukan

jalannya aliran material erupsi. Model dibuat dengan memperhitungkan beberapa peluang dari sebuah sel piksel ke sel piksel lainnya untuk menjadi aliran, dengan asumsi dua aturan sederhana, yaitu: aliran hanya dapat merambat dari satu piksel sel ke salah satu dari delapan piksel sel tetangganya

jika perbedaan ketinggian topografinya adalah positif, dan kemungkinan untuk berpindah dari satu piksel sel ke piksel sel tetangganya adalah proporsional dengan perbedaannya (Felpeto *et al.*, 2007). Hasil simulasi model aliran material erupsi pada skenario 2 meter dan 7 meter disajikan dalam Gambar 3-1



Gambar 3-1: Hasil Simulasi Aliran Material Erupsi pada Koreksi Ketinggian ( $H_c$ ) 2 dan 7 meter di Daerah Penelitian

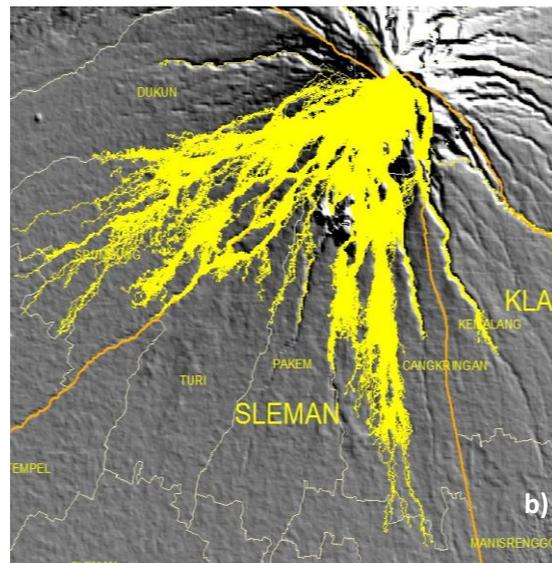
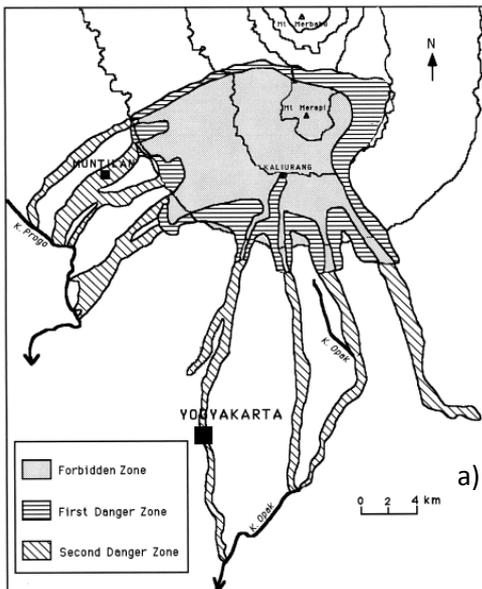
Berdasarkan model simulasi yang dihasilkan pada Gambar 3-1, tampak hasil simulasi menunjukkan semakin tinggi nilai  $h_c$  yang menggambarkan dan mensimulasikan pengaruh atau efek dari ketinggian aliran material erupsi yang digunakan memberikan peluang terjadinya aliran material erupsi yang lebih luas dan jauh cakupannya. Hal ini sesuai dengan konsep yang tertuang dalam persamaan 2-2, dimana jika ketinggian  $h_i$  lebih rendah daripada ketinggian piksel  $h_o$  maka semakin tinggi nilai  $h_c$  yang digunakan akan memberikan nilai selisih yang tinggi antara ke-2 piksel tersebut. Peluang terjadinya aliran pada piksel tetangga menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan piksel lain yang mempunyai selisih ketinggian yang lebih rendah terhadap ketinggian piksel awal, sehingga peluang aliran material erupsi

menjadi lebih luas dan semakin jauh jangkauannya.

Secara khusus dalam penelitian ini belum membahas masalah tingkat akurasi dan reliabilitas dari model yang dihasilkan, hal ini tentunya dapat dijadikan masukan untuk penelitian selanjutnya. Namun berdasarkan peta referensi *volcanic hazard map of Merapi* (VSI, 1995; Pardyanto, 1978; Lavigne *et al.*, 2000). Model yang dihasilkan dari penelitian ini menunjukkan adanya pola dan sebaran hasil erupsi yang hampir sama, hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3-2. Hasil aplikasi dari pemodelan ini, dapat dijadikan sebagai masukan untuk melakukan pendetilan informasi dan mendukung pembuatan peta zonasi bahaya vulkanik. Gambar 3-2 menunjukkan perbandingan antara peta *reference volcanic hazard map of Merapi* dengan hasil simulasi numerik model yang dihasilkan.

Berdasarkan analisis probabilistik, aliran material erupsi Merapi umumnya lebih mengarah ke wilayah selatan melalui Kali Gendol menuju Kecamatan Cangkringan dan ke arah barat daya melalui Kali Putih menuju Kecamatan Srumbung baik pada simulasi ketinggian erupsi 2 dan 7 meter (Gambar 3-3). Probabilitas tinggi (ditandai warna merah) terjadinya aliran erupsi Merapi lebih mendominasi wilayah Kecamatan Cangkringan dibandingkan dengan

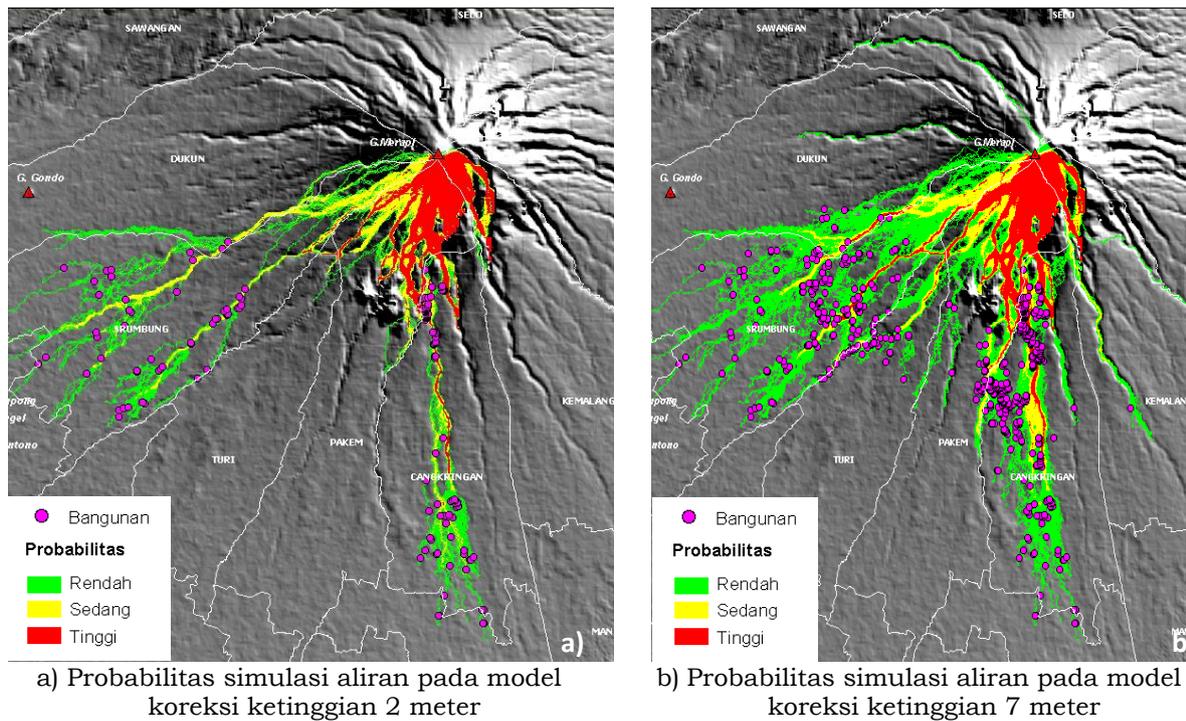
Kecamatan Srumbung. Hasil tumpang susun probabilitas aliran erupsi Merapi terhadap beberapa bangunan permukiman di wilayah sekitar Merapi pada Gambar 3-3 menunjukkan bahwa wilayah permukiman yang berpotensi tinggi terkena dampak aliran erupsi terdapat di Kecamatan Cangkringan, yaitu di sekitar Kali Gendol. Tabel 3-1. Menunjukkan estimasi banyaknya bangunan yang terkena dampak erupsi Merapi dari model yang dihasilkan.



a) peta referensi *volcanic hazard map of Merapi* (VSI, 1995; Pardyanto, 1978; Lavigne *et al.*, 2000)

b) hasil simulasi numerik model probabilistik aliran material erupsi menggunakan algoritma *Monte Carlo*

Gambar 3-2:Perbandingan peta referensi *volcanic hazard map of Merapi* dengan hasil simulasi numerik model probabilistik aliran material erupsi menggunakan algoritma *Monte Carlo*



Gambar 3-3:Estimasi dampak erupsi hasil simulasi terhadap sejumlah bangunan di daerah penelitian

Tabel 3-1: HASIL ESTIMASI DAMPAK ERUPSI TERHADAP SEJUMLAH UNIT BANGUNAN DI DAERAH PENELITIAN

Kecamatan	Jumlah Bangunan (unit)	
	Model simulasi 2 meter	Model simulasi 7 meter
Cangkringan	100	362
Dukuh	2	9
Kemalang	-	1
Ngemplak	4	4
Pakem	-	31
Salam	1	1
Srumbung	52	157
Turi	-	35
Total	159	600

Estimasi dampak erupsi terhadap sejumlah lokasi bangunan di daerah penelitian diperoleh berdasarkan tumpang susun dari model probabilitas simulasi aliran material erupsi dengan titik lokasi bangunan. Diperkirakan sejumlah 362 unit bangunan di Kecamatan Cangkringan rusak pada skenario simulasi aliran material erupsi dengan koreksi ketinggian 7 meter dan 100 unit pada skenario 2

meter. 157 unit bangunan di Kecamatan Srumbung rusak pada skenario 7 meter dan 52 unit pada skenario 2 meter. Semakin luas dan melebarnya hasil simulasi model aliran material erupsi yang dihasilkan, maka semakin besar pula dampaknya terhadap unit bangunan di daerah penelitian.

#### 4 KESIMPULAN

Simulasi aliran material erupsi Gunung Api Merapi dapat digambarkan dengan mengaplikasikan model probabilistik berdasarkan algoritma *Monte Carlo*. Hasil simulasi dalam penelitian ini menghasilkan zonasi potensi bahaya vulkanik dengan pola dan sebaran yang hampir sama dengan peta referensi *volcanic hazard map of Merapi*. Hasil dari simulasi aliran material erupsi di tumpang susun dengan informasi lokasi bangunan dan setelah itu hasil dari proses ini dapat digunakan untuk menentukan besarnya dampak erupsi. Metode ini efektif dan dapat digunakan sebagai salah satu pendekatan alternatif untuk pembuatan peta zonasi potensi bahaya vulkanik dan bermanfaat untuk mengetahui tingkat bahaya akibat letusan gunung api, sehingga dapat memberikan informasi dini untuk melakukan evakuasi.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Diucapkan terimakasih kepada Bapak Ir. Mahdi Kartasasmita, MS, Ph.D yang sudah memberikan arahan dalam penulisan naskah ilmiah ini, serta Bapak M. Haidar dari BIG atas bantuan data sekunder untuk penelitian ini.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Alberico, I.; Lirer, L.; and Petrosino, P., Scandone, R., 2002. *A Methodology for the Evaluation of Long-term-volcanic risk from Pyroclastic Flows in Campi Flegrei (Italy)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 116, 63–78.
- Barberi, F.; Macedonio, G.; and Pareschi, M.T., Santacroce, R., 1990. *Mapping the Tephra Fallout Risk: an Example from Vesuvius, Italy*. Nature 344, 142–144.
- Cioni, R.; Luongo, A.; Macedonio, G.; Santacroce, R.; Sbrana, S.;

Sulpizio, R.; and Andronico, D., 2003. *Assessing Pyroclastic Fall Hazards through Field Data and Numerical Simulations: example from Vesuvius*. Journal of Geophysical Research 108 (B2), 2063. doi: 10.1029/2001JB000642.

- Connor, C. B.; Hill, B. E.; Winfred, B.; Franklenn, N.W.; and LaFemina, P.C., 2001. *Estimation of Volcanic Hazards from Tephra Fallout*. Natural Hazards Review 2, 33–42.
- Esposti Ongaro, T.; Neri, A.; Todesco, M.; and Macedonio, G., 2002. *Pyroclastic Flow Hazard Assessment at Vesuvius (Italy) by using numerical modelling II Analysis of flow variables*. Bulletin of Volcanology 64, 178–191.
- Felpeto, A., 2009. *VORIS a GIS-based Tool for Volcanic Hazard Assessment*. User's guide version 2.0.1. Observatorio Geofisico Central, IGN.
- Felpeto, A.; Matri, J.; and Ortiz, R., 2007. *Automatic GIS-based System for Volcanic Hazard Assessment*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 166 (2007) 106–116.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/GunungMerapi>
- Hurst, T.; and Smith, W., 2004. *A Monte Carlo Methodology for Modeling ash fall Hazards*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 132, 393–403.
- Kauahikaua, J.; Margriner, M.; Lockwood, J.; and Trusdell, F., 1995. *Applications of GIS to the Estimation of Material Erupsi flow Hazards on Mauna Loa volcano, Hawaii, in Mauna Loa Revealed: structure, composition, history, and hazards*. Geophysical Monograph, vol. 92.AGU, pp. 315–325.
- Lavigne, F.; Thouret, J.C.; Voight, B.; Suwa, H.; and Sumaryonoe, A.,

2000. *Lahars at Merapi Volcano, Central Java: an Overview*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 100 (2000) 423–456.
- Rosano, S.; Mastrolorenzo, G.; and De Natale, G., 2004. *Numerical Simulations of Pyroclastic Density Currents on Campy Flegrei Topography: a Tool for Statistical Hazard Estimation*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 132, 1–14.
- Saito, T.; Eguchi, T.; Takayama, K.; and Taniguchi, H., 2001. *Hazard Prediction for Volcanic Explosions*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 106, 39–51.
- Tandang, Y.D.P., 2010. *A Local Spatial Data Infrastructure to Support The Merapi Volcanic Risk Management*. Thesis Master of Science in Geo-Information for Spatial Planning and Risk Management, Graduate School, Faculty of Geography.
- Thouret, J.C.; Lavigne, F.; Kelfouna, K.; and Brontob, S., 2000. *Toward a Revised Hazard Assessment at Merapi Volcano, Central Java*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 100 (2000) 479–502.
- Toyos, G.P.; Cole, P.D.; Felpeto, A.; and Martí, J., 2007. *A GIS-based Methodology for Hazard Mapping of Small Pyroclastic Density Currents*. Natural Hazards 41 (1), 99–112.
- Voight, B.; Constantinea, E.K.; Siswamidjono, S.; and Torley, R., 2000. *Historical Eruptions of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia, 1768 – 1998*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 100 (2000) 69–138.
- Wadge, G.; Young, P.A.V.; and McKendrick, I.J., 1994. *Mapping Material Eruptive Flow Hazards using Computer Simulation*. Journal of Geophysical Research 99 (B1), 489–504.