



PEMANFAATAN HASIL PEMODELAN ALIRAN LAHAR UNTUK PEMETAAN KAWASAN RAWAN BENCANA GUNUNGAPI MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIK

Dewi Kania Sari, Ir., MT
Hary Nugroho, Ir., MT

*Staf Pengajar Jurusan Teknik Geodesi
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung*

ABSTRAK

Indonesia memiliki 129 gunungapi aktif yang berderet sepanjang Pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Kepulauan Banda, Sulawesi, dan Kepulauan Halmahera. Tidak kurang dari 10% penduduk Indonesia bermukim di kawasan gunungapi. Mengingat jumlah penduduk yang demikian besar itu maka ancaman terjadinya bahaya letusan gunungapi atau bahaya ikutannya sangat penting untuk diwaspadai. Aliran lahar adalah salah satu bahaya gunungapi yang paling mematikan. Upaya mitigasi bencana gunungapi yang dilakukan oleh Direktorat Vulkanologi antara lain adalah membangun Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi. Hingga saat ini delimitasi daerah bahaya gunungapi tersebut masih dilakukan secara manual.

Perkembangan teknologi Sistem Informasi Geografik (SIG) dan ketersediaan Digital Terrain Model (DTM) saat ini dapat dimanfaatkan untuk menetapkan kawasan rawan bencana gunungapi. Nugroho [2000] telah mengembangkan suatu pemodelan aliran lahar gunungapi dengan metode spasial dinamik yang menghasilkan peta aliran lahar.

Pada penelitian ini dilakukan pembangunan SIG untuk pemetaan kawasan rawan bencana aliran lahar gunungapi dengan memanfaatkan peta aliran lahar hasil pemodelan Nugroho [2000]. Zonasi daerah bahaya aliran lahar gunungapi diperoleh dengan menggunakan metode overlay peta-peta tematik, yaitu peta aliran lahar, peta morfologi, dan peta guna lahan. Area studi adalah wilayah Gunung Galunggung.

Kata-kata kunci : gunungapi, lahar, Sistem Informasi Geografik (SIG), Digital Terrain Model (DTM), pemodelan, overlay.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki gunungapi aktif sebanyak 129 buah. Jumlah tersebut merupakan 13% dari seluruh gunungapi yang ada di dunia. Letak gunungapi ini berderet pada jalur tektonik sepanjang kurang lebih 7000 km, dimulai dari kawasan Pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Kepulauan Banda, Sulawesi, dan Kepulauan Halmahera [Bacharudin, 1996].

Saat ini tidak kurang dari 10 % penduduk Indonesia bermukim di kawasan gunungapi. Penduduk dengan jumlah tersebut setiap hari menggantungkan hidupnya dengan memanfaatkan kekayaan alam gunungapi. Dengan jumlah penduduk yang demikian besar, ancaman terjadinya bahaya akibat letusan gunungapi atau pun bahaya ikutannya menjadi satu hal yang penting untuk diwaspadai.

Berdasarkan kondisi ini maka pemerintah Republik Indonesia, melalui Direktorat Vulkanologi, dengan gencar melakukan berbagai upaya untuk dapat memperkecil bencana yang timbul akibat letusan ini. Salah satu upaya yang dilakukan adalah membuat Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi. Di dalam Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi (PKRBG) ini ditetapkan kawasan atau zona resiko bahaya gunungapi. Pembagian kawasan rawan ini dilakukan berdasarkan bahaya yang ditimbulkan oleh letusan gunungapi.

1.2 Perumusan Masalah

Sampai saat ini Direktorat Vulkanologi melakukan pembatasan atau deliniasi daerah bahaya bencana gunungapi secara manual. Penarikan batas kawasan rawan dilakukan dengan memperhatikan sifat gunungapi yang bersangkutan, pelembaran lateral, serta pola bentang alamnya [Bacharudin, 1996]. Adapun penarikan batas kawasan rawan terhadap material lontaran dilakukan dengan memperhatikan sifat gunungapi yang bersangkutan dan tanpa memperhitungkan arah dan kecepatan angin, dengan demikian kawasannya akan berupa lingkaran yang berpusat pada titik letusannya.

Untuk deliniasi kawasan rawan aliran lahar, upaya yang dilakukan adalah dengan melakukan hitungan volume air dan material lepas yang ada di dalam kawah, volume ini adalah volume potensi lahar letusan. Selanjutnya dihitung pula daya tampung dari alur

sungai yang ada di sekitar kawah beserta perbandingan daya tampung masing-masing sungai berdasarkan sejarah letusan terdahulu. Dari data tersebut kemudian dilakukan prediksi perbandingan volume aliran lahar pada masing-masing sungai sesuai dengan daya tampung dan prosentase volume lahar yang akan mengalir. Dari volume dan alur topografi sungai maka dilakukan deliniasi daerah landaan laharnya [Wirakusumah, 1996].

Saat ini perkembangan teknologi sistem informasi telah sampai pada tahap yang cukup signifikan bagi perkembangan teknologi simulasi. Berbagai simulasi dari benda bergerak sudah dapat dilakukan dengan baik. Untuk simulasi benda bergerak yang beracuan pada kondisi permukaan bumi saat ini telah dapat dilakukan dengan memanfaatkan apa yang disebut dengan *digital terrain model* (DTM). Teknologi ini pun, saat ini telah sampai pada tingkat perkembangan yang signifikan, sehingga dapat melakukan simulasi pada wilayah yang sangat detil karena memiliki tingkat akurasi yang demikian tinggi.

Penetapan kawasan rawan bencana yang dilakukan oleh Direktorat Vulkanologi sesungguhnya dapat dilakukan dengan teknologi simulasi yang telah berkembang saat ini. Pemanfaatan teknologi ini dimaksudkan agar penetapan kawasan rawan bencana dibuat berdasarkan suatu pemodelan yang memperhatikan berbagai kaidah alamiah. Jalur aliran lahar dapat diprediksi dengan benar dan penetapan posisi bangunan struktur pengendali lahar akan dapat dilakukan dengan tepat sesuai dengan alur aliran laharnya. Pemodelan seperti ini telah dilakukan oleh Nugroho [2000] yang membangun suatu pemodelan aliran lahar dengan metode spasial dinamik. Pemodelan spasial dinamik adalah pemodelan suatu fenomena alam dimana salah satu medianya dapat berubah secara dinamik.

Pembangunan PKRBG saat ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi sistem Informasi Geografik (SIG), karena peta ini adalah peta yang diturunkan dari berbagai peta tematik. Pembagian kawasan di daerah badan gunungapi menjadi kawasan tingkat resiko I, II dan III dapat dilakukan dengan teknik pemodelan deterministik, dimana faktor-faktor pendukung terjadinya suatu bahaya dapat dilakukan dengan teknik *overlay* untuk mendapatkan batasan kawasan rawan bencana. Hasil pemodelan spasial dinamik yang telah dihasilkan oleh Nugroho [2000] akan dijadikan sebagai salah satu peta tematik yang digunakan di dalam pembangunan PKRBG.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kawasan rawan bencana gunungapi, khususnya bencana aliran lahar letusan, berdasarkan hasil pemodelan aliran yang berbasis pada *digital terrain model* (DTM). Hasil pemodelan aliran lahar ini bersama-sama dengan data pendukung lainnya dianalisis menggunakan teknologi Sistem Informasi Geografik (SIG) untuk membangun Peta Kawasan Rawan Bencana Aliran Lahar Gunungapi (PKRBG).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Daerah studi pada penelitian ini adalah Gunung Galunggung.
- Data yang digunakan sebagai media pemodelan adalah data topografi skala 1 : 10.000 yang dibuat oleh Direktorat Vulkanologi pada tahun 1978 berdasarkan pengukuran terestris.
- DTM yang digunakan untuk keperluan pemodelan menggunakan metode grid, yang dibuat dengan ukuran 10 meter.
- Program pemodelan menggunakan program aplikasi yang telah dibuat oleh Nugroho [2000], dimana ketentuan pemodelannya adalah pemodelan aliran dilakukan dengan analisis gerakan satu grid dan analisis gerakan menggunakan kernel (windows) dengan ukuran 3 grid x 3 grid, selanjutnya disebut dengan kernel 3x3.
- Data dasar yang digunakan untuk membangun peta kawasan rawan bencana gunungapi terdiri dari, *pertama*, peta daerah aliran lahar yang diturunkan dari hasil pemodelan aliran lahar, *kedua* adalah peta geomorfologi, yaitu peta yang memperlihatkan morfologi daerah-daerah pada badan gunungapi dan *ketiga* adalah peta guna lahan/tutupan lahan yang diturunkan dari peta topografi.
- Pembangunan PKRBG dibuat berdasarkan pemodelan deterministik (teknik *overlay*) dari ketiga jenis peta tematik seperti yang disebutkan di atas menggunakan SIG.
- Di dalam pembangunan peta kawasan rawan bencana ini ketiga data dasar yang menjadi parameter analisis *overlay* selanjutnya diberi bobot yang mengindikasikan tingkat bahayanya. Daerah bahaya merupakan akumulasi dari bobot-bobot tersebut, dimana daerah dengan akumulasi bobot besar adalah daerah dengan tingkat

kerawanan tinggi sedangkan daerah yang memiliki akumulasi bobot rendah adalah daerah dengan tingkat kerawanan rendah.

2. PEMODELAN ALIRAN LAHAR DENGAN METODE SPASIAL DINAMIK

2.1 Lahar

2.1.1 Pengertian dan Komponen Aliran Lahar

Lahar merupakan aliran massa yang berupa campuran antara air dan bahan berbagai ukuran, mulai dari abu, pasir, kerikil hingga bongkah batu yang berasal dari letusan Gunungapi atau disebut dengan partikel lepas/rempah vulkanik. Terdapat tiga faktor utama pembentuk lahar, yaitu air, bahan rempah vulkanik, dan kemiringan lereng tubuh Gunungapi [*Bronto, 1991*].

Air dapat berasal dari air hujan, air sungai, air danau di lereng atau kaki gunungapi, es atau gletser dan air danau kawah. Umumnya di daerah tropis seperti Indonesia, air hujan adalah faktor utama pembentuk lahar di samping juga air yang berasal dari danau kawah. Air yang berasal dari danau kawah ini seperti yang terjadi di Gunung Kelut dan Galunggung.

Komponen ketiga dalam mekanisme aliran lahar adalah komponen kemiringan tanah atau lereng. Kemiringan ini sangat menentukan banyaknya material yang terangkut atau tererosi serta menentukan pula kecepatan aliran lahar. Semakin terjal lereng gunungapi dan semakin curam lembah sungai maka bahan piroklastik yang terangkut akan semakin banyak dan semakin cepat aliran lahar yang terjadi. Hal ini semata-mata diakibatkan oleh gaya berat bumi.

2.1.2 Jenis-jenis Lahar

Di Indonesia, sesuai dengan kondisi iklim tropis dan kondisi geografisnya, jenis lahar dikenal dalam beberapa macam, yaitu lahar hujan, lahar letusan, lahar panas, dan lahar dingin.

Lahar hujan

Adalah lahar yang terbentuk antara air hujan dengan rempah vulkanik. Jenis ini yang paling umum terjadi di Indonesia, dan disebut dengan lahar sekunder, artinya kejadian lahar tidak berhubungan langsung dengan letusan gunungapi.

Lahar Letusan

Adalah lahar yang terjadi pada saat letusan berlangsung. Lahar ini terjadi pada gunungapi yang memiliki danau kawah dan sering disebut sebagai lahar primer.

Lahar Panas

Adalah lahar yang memiliki suhu tinggi, ditandai dengan kepulan asap putih pada saat mengalir. Hal ini terjadi karena rempah vulkanik hasil letusan masih menyimpan panas walaupun sudah tercampur dengan air hujan dan/atau air danau yang panas

Lahar Dingin

Adalah lahar yang memiliki suhu dingin dan tidak mengepulkan asap.

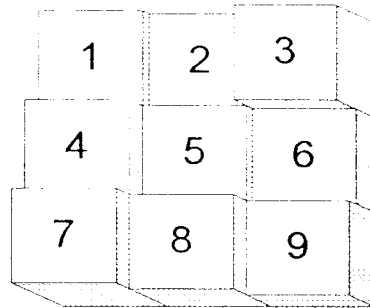
2.2 Pemodelan Aliran Lahar

Saat ini perkembangan pemodelan telah sampai pada tahap pemodelan spasial dinamik. Pemodelan spasial dinamik ini adalah proses/kegiatan yang berusaha untuk menyerupai proses alamiah dengan menggunakan perhitungan matematis dan disimulasikan atau digambarkan secara grafis dimana parameter perhitungan selalu berubah sesuai dengan kondisi alamiah yang dimodelkan. Pemodelan spasial dinamik pada bidang vulkanologi telah dilakukan antara lain oleh Nugroho [2000] yang melakukan pemodelan aliran lahar letusan gunungapi. Pada penelitian tersebut telah dikembangkan suatu pemodelan spasial dinamik yang dilakukan dengan menggunakan *digital terrain model* (DTM) dalam bentuk grid dan analisis aliran lahar menggunakan metode *sliding block modeling*, sedangkan pola gerakan lahar dilakukan dengan pola gerakan satu grid. Pemodelan ini dianggap dinamik karena DTM yang dibentuk di awal akan berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan pengendapan lahar yang terjadi. Pada pemodelan ini terdapat 3 hal utama yang harus diperhatikan yaitu DTM, gerakan aliran, pengendapan lahar, penentuan grid terendah dan kecepatan.

2.2.1 Digital Terrain Model (DTM)

Saat ini dikenal beberapa metode untuk mempresentasikan bentuk permukaan bumi menggunakan DTM, pada penelitian yang dilakukan oleh Nugroho [2000] ini, model DTM yang digunakan adalah DTM dengan bentuk dasar kotak atau grid. Kotak

atau grid ini memiliki ketinggian yang apabila divisualisasikan akan nampak seperti pada gambar 1. DTM ini oleh Laurini [1992] disebut sebagai *devil staircase*.

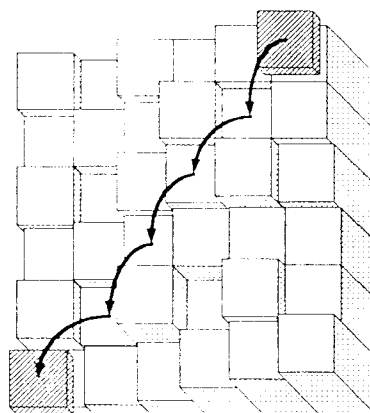


Gambar 1

DTM model grid dalam bentuk kernel 3x3 (devil staircase)

2.2.2 Gerakan Aliran

Dalam pergerakan aliran lahar, hal utama yang perlu ditetapkan adalah material lahar yang bergerak di atas grid. Material tersebut direpresentasikan dalam bentuk kotak dengan ukuran panjang lebar sama dengan ukuran grid dan tebal sebesar satu satuan. Gerakan material lahar berupa gerakan menggeser, gerakan ini dikenal dengan nama *sliding block modelling* [Hubbard, 1996], dapat dilihat pada Gambar 2.



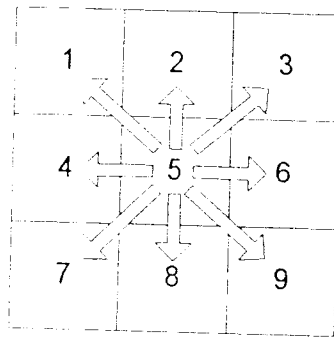
Gambar 2

Sliding Block Modeling

Dalam analisis gerakan lahar terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu penentuan grid terendah dan pengendapan lahar.

2.2.2.1 Penentuan Grid Terendah

Seperti halnya benda cair lainnya, pergerakan lahar sangat dipengaruhi oleh kondisi *terrain* dan arah aliran akan menuju daerah terendah. Dalam analisis arah gerakan lahar, kondisi *terrain* akan dibatasi dalam grid dengan jumlah 9 yang membentuk kernel dengan ukuran 3x3. Untuk kernel ukuran 3x3 arah gerakan memiliki kemungkinan delapan arah yaitu utara, barat, selatan, timur, barat laut, barat daya, tenggara dan timur laut. Hal ini diperlihatkan pada gambar 3. Dalam setiap gerakan, gerakan awal selalu dimulai pada grid nomor 5.



Gambar 3

Delapan kemungkinan arah gerak lahar

2.2.2.2 Pengendapan Lahar

Pengendapan lahar terjadi akibat beberapa hal, *pertama* adalah karena tertahan oleh friksi *terrain*, *kedua* karena gaya dan momentum yang bekerja pada lahar tidak cukup kuat untuk dapat menggerakkan lahar, dan *ketiga* adalah karena lahar telah mencapai kestabilan sempurna.

Nilai friksi *terrain* tidak dapat ditentukan karena sampai dengan saat ini belum ada penelitian untuk menentukan hal itu di Gunung Galunggung. Demikian pula dengan nilai friksi lahar. Untuk itu diasumsikan bahwa lahar akan tertahan oleh gaya friksi pada

keadaan kondisi *terrain* tidak tertutup oleh lahar. Adapun aliran lahar yang bergerak di atas lahar lainnya dianggap atau diasumsikan tidak memiliki friksi.

Kecepatan Aliran Lahar

Aliran lahar memiliki karakteristik seperti fluida bergerak. Selama dalam alirannya, lahar mengalami benturan dan loncatan yang terangkum dalam sistem momentum dan hukum kekekalan massa dan momentum. Terdapat banyak model gerakan fluida yang pernah dibuat. Salah satu persamaan kecepatan yang banyak dipakai di Indonesia adalah persamaan dari Takahashi [Takahashi, 1984; Wirakusumah, 1997]. Persamaan ini merupakan hasil penelitian dari Takahashi di Sungai Bebeng, Gunung Merapi.

$$V_e = \frac{2}{5d} \left[\frac{g \rho T \sin \phi}{0,002 \sigma} \right]^{1/2} \left[\left(\frac{C * L}{CL} \right)^{1/3} - 1 \right] h^{3/2}$$

(1)

dimana :

V_e : kecepatan fluida untuk mengerosi atau mentranspor material, dalam satuan (m/det)

g : percepatan gaya berat, dalam satuan (m/det²)

ϕ : *channel slope*, dalam satuan derajat

d : diameter partikel, dalam satuan (m)

T : densitas spesifik aliran, dalam satuan (kg/m³)

σ : densitas partikel. Dalam satuan (kg/m³)

$C*L$: konsentrasi *packing volume* partikel besar, dalam satuan (%)

CL : rata-rata konsentrasi volume partikel besar dalam seluruh aliran, dalam satuan (%)

h : tinggi aliran, dalam satuan (m)

Bila $h/dL \geq 30$ (dL : rata-rata diameter partikel besar), maka persamaan (1) berubah menjadi [ibid, 1984]

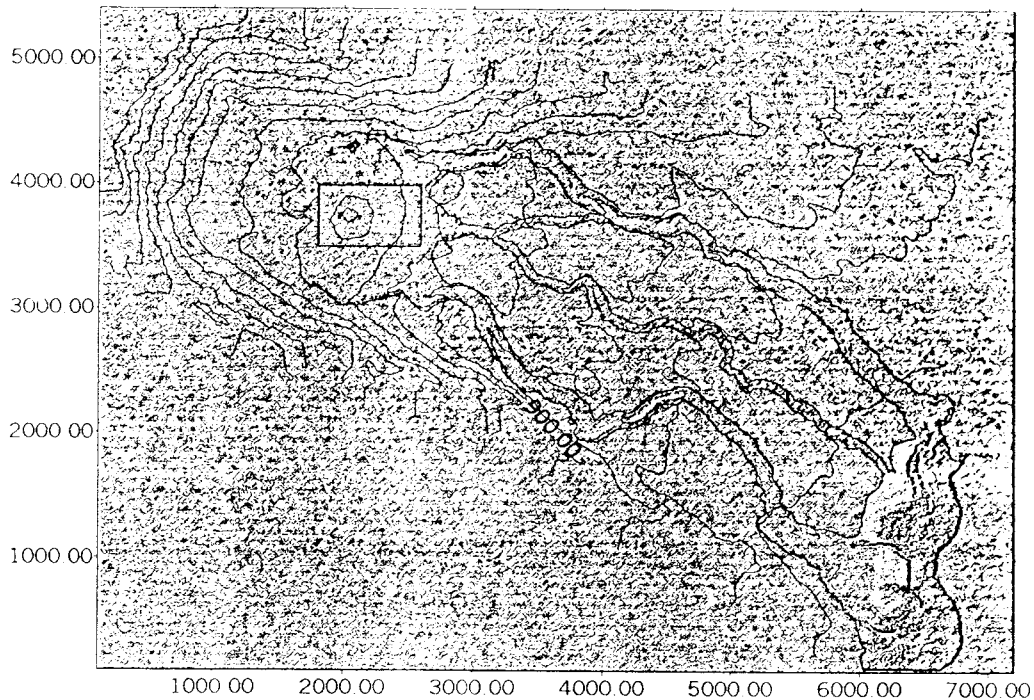
$$V_e = \frac{1}{\eta} h^{2/3} \sin^{1/2} \phi \quad (2)$$

dimana η : *Manning resistance*, dalam satuan ($dt/m^{-1/3}$) [Chow, 1959]

2.3 Hasil Pemodelan Aliran Lahar

Dari pemodelan aliran lahar Gunung Galunggung menggunakan model yang dikembangkan oleh Nugroho [2000], diperoleh peta daerah aliran lahar atau landaan lahar seperti terlihat pada Gambar 4.

Hasil Pemodelan lahar dengan friksi, grid 10m, kawah 500x800 m2, vol=10 juta m3, iterasi 46



Gambar 4
Hasil Simulasi Aliran Lahar Gunungapi Galunggung

3. PENERAPAN SIG UNTUK PEMBUATAN PETA KAWASAN RAWAN BENCANA ALIRAN LAHAR GUNUNGAPI

Terdapat 4 faktor yang mempengaruhi tingkat kerawanan suatu daerah terhadap bahaya yang mengancam yang meliputi [Bacharudin & Wirakusumah, 1998] :

1. Situasi geografik
2. Pola dan distribusi elemen bahaya
3. Kepekaan elemen bahaya
4. Tempat atau lokasi geomorfologi khusus

Dari keempat faktor yang mempengaruhi kerawanan, maka ditetapkan data dasar yang diperlukan untuk membangun sistem informasi kawasan rawan bencana aliran lahar. Data dasar tersebut adalah [Bacharudin & Wirakusumah, 1998] :

1. Peta Aliran Lahar Gunungapi (yang diturunkan dari hasil pemodelan spasial), mewakili pola dan distribusi terhadap elemen bahaya.
2. Peta Guna Lahan atau Tutupan Lahan, mewakili situasi geografik elemen bahaya.
3. Peta Geomorfologi, mewakili tempat atau situasi geomorfologi khusus.

Untuk komponen kepekaan elemen bahaya, kondisi ini diwakili dengan pemberian *score* khusus. *Scoring* yang dimaksud adalah pemberian bobot yang menunjukkan tingkat kerawanan suatu lokasi terhadap bahaya dan kemungkinannya jatuh korban jiwa maupun harta. Bobot setiap tema akan menunjukkan tingkat kerawanan tema atau tingkat pengaruh suatu tema terhadap tingkat kerawanannya. Pembobotan peta aliran lahar dilakukan dengan membagi kawasan bahaya aliran lahar ke dalam empat kategori daerah, yaitu daerah yang terlanda (daerah aliran lahar), diberi bobot 4, daerah yang memiliki jarak sampai dengan 50m dari kawasan landaan lahar diberi bobot 3, daerah yang memiliki jarak antara 50 sampai dengan 100m dari kawasan landaan lahar diberi bobot 2 dan daerah yang terletak di luar ketiga daerah sebelumnya diberi bobot 1.

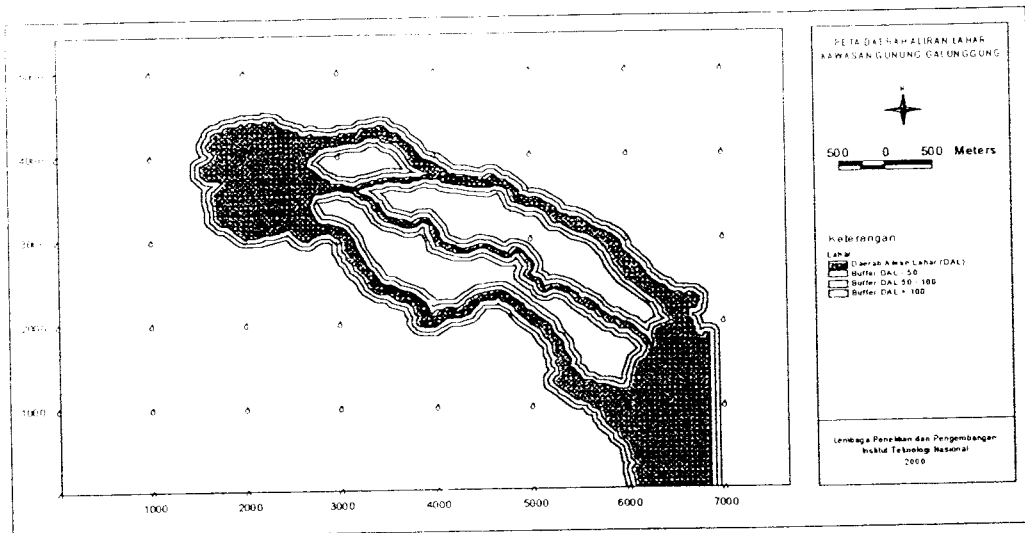
Tabel 1

Pembobotan Daerah Bahaya Aliran Lahar

No.	Daerah Bahaya Aliran Lahar	Bobot
1	Daerah Aliran Lahar (DAL)	4
2	Daerah sampai dengan jarak 50m dari DAL	3
3	Daerah dengan jarak antara 50m s.d 100m dari DAL	2
4	Daerah dengan jarak > 100m dari DAL	1

Pemberian bobot ini didasarkan pada kondisi bahwa aliran lahar sering kali menyimpang dari jalur yang telah diprediksi, terutama pada daerah-daerah yang terhalang atau pun berbelok serta pada daerah-daerah datar. Untuk itu demi keamanan, maka dilakukan pemberian jarak atau *buffer* sepanjang 50 m. Hal ini dinilai cukup untuk mengantisipasi 'penyelewengan' aliran. Adapun *buffer* yang kedua merupakan daerah 'penyangga' keamanan lapis kedua yang dipakai jika terjadi penyelewengan aliran yang terus-menerus, sehingga jarak 50 m kedua ini dapat mengantisipasinya.

Untuk pembobotan pada peta guna lahan, langkah pertama yang dilakukan adalah membangun terlebih dahulu peta guna lahan berdasarkan peta topografi kawasan gunungapi. Terdapat tiga kategori penggunaan lahan yang diturunkan dari peta topografi ini, yaitu daerah perumahan, persawahan, dan tegalan/tanah kosong/hutan. Bacharudin & Wirakusumah [1998] menetapkan angka bobot untuk suatu jenis guna lahan berdasarkan akibat yang dapat timbul apabila suatu bahaya melanda kawasan ini. Artinya, jumlah korban yang jatuh akibat terjadinya bahaya pada daerah perumahan akan sangat tinggi apabila dibandingkan dengan jumlah korban yang dapat jatuh di daerah tanah kosong/hutan. Untuk itu bobot untuk kawasan perumahan adalah 3, persawahan 2, dan tegalan/tanah kosong/hutan 1. Selanjutnya kawasan perumahan masih dibagi lagi menjadi kawasan perumahan dengan kepadatan tinggi, sedang dan jarang. Pembagian ini memberi bobot yang berbeda pula, untuk kawasan perumahan dengan kepadatan tinggi mendapat bobot 3, sedangkan kawasan perumahan dengan kepadatan sedang mendapat



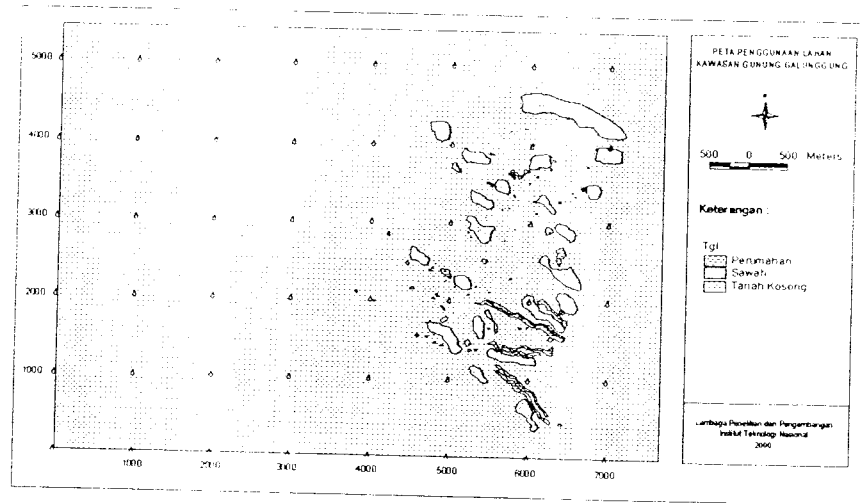
Gambar 5
Peta Aliran Lahar Hasil Pemodelan

bobot 2, dan kawasan perumahan dengan kepadatan rendah mendapat bobot 1. Akumulasi bobot untuk kawasan perumahan merupakan hasil kali antara nilai bobot dari kepadatannya dan nilai bobot untuk perumahannya. Dengan demikian kawasan perumahan dengan kepadatan tinggi mendapat bobot 9, kawasan perumahan dengan kepadatan sedang mendapat bobot 6, dan kawasan perumahan dengan kepadatan rendah mendapat bobot 3.

Tabel 2

Pembobotan Daerah Guna Lahan

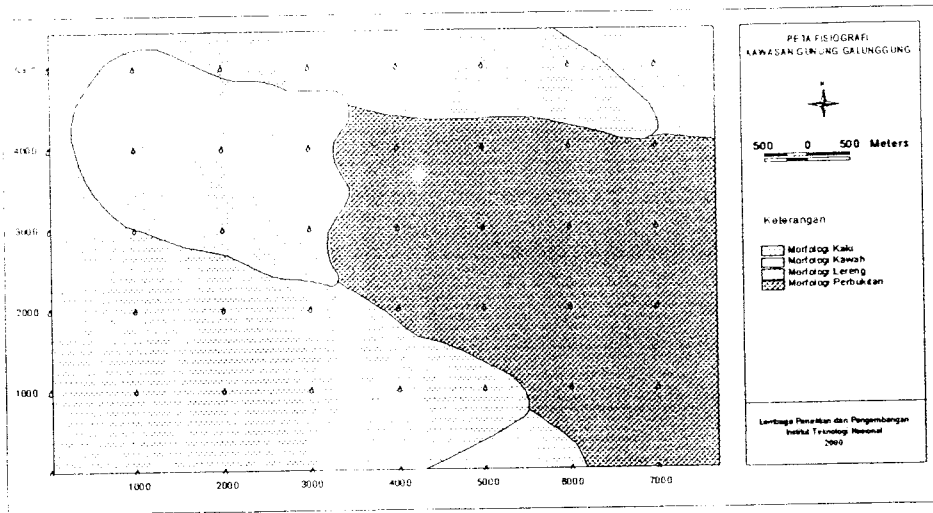
No.	Daerah Guna Lahan	Bobot
1	Perumahan dengan kepadatan Tinggi	9
2	Perumahan dengan kepadatan Tinggi	6
3	Perumahan dengan kepadatan Tinggi	3
4	Persawahan	2
5	Pegalan atau Tanah Kosong	1



Gambar 6
Peta Tutupan Lahan/Guna Lahan (Sumber : Dir. Vulkanologi)

Di dalam pemberian bobot untuk kawasan perumahan, *score* yang ditetapkan sesungguhnya sangat tergantung kepada kepadatan rumah yang ada di daerah bersangkutan pada luasan yang sama. Sebagai misal jika kawasan permukiman yang ada di daerah gunungapi diklasifikasikan ke dalam tiga daerah yaitu kepadatan tinggi, sedang, dan rendah, maka bobot masing-masing kelas ditentukan dari perbandingan jumlah rumah yang berada di ketiga kelas daerah permukiman di atas. Jika jumlah rumah di kawasan padat adalah 100 per kilometer persegi, 50 rumah di kawasan sedang dan 10 rumah di kawasan dengan kepadatan rendah, maka *score* kawasan perumahan adalah 10 : 5 : 1.

Untuk kawasan morfologi yang diperoleh dari peta geomorfologi, pembagian bobot dilakukan berdasarkan kondisi morfologinya. Penetapan angka bobot ditetapkan berdasarkan lokasi morfologi terhadap pusat letusan atau pusat keluarnya lahar. Dengan demikian, morfologi kawah dianggap yang paling berbahaya apabila dibandingkan morfologi lereng, dan morfologi lereng dianggap lebih berbahaya apabila dibandingkan dengan morfologi kaki maupun morfologi perbukitan. Tabel 3 menyajikan pembobotan untuk kawasan morfologi.



Gambar 7
Peta Geomorfologi (Sumber : Dir. Vulkanologi)

Tabel 3

Pembobotan Morfologi

(Diturunkan dari *Numerical Equivalent and Ranking of Degree of Potentially Volcanic Hazard*,

Sumber : Bacharudin dan Wirakusumah [1998])

No.	Jenis Morfologi	Bobot
1	Morfologi Kawah	4
2	Morfologi Lereng	3
3	Morfologi Kaki	2
4	Morfologi Perbukitan	1

Adapun klasifikasi untuk daerah rawan bencana diperoleh dari klasifikasi akumulasi bobot. Penurunan akumulasi bobot dilakukan berdasarkan matriks kriteria bobot yang

dituliskan pada tabel 4. Adapun tingkat kerawanan dibagi ke dalam kelas-kelas seperti yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4

Matriks Zonasi Kerawanan

(Sumber : Bacharudin dan Wirakusumah [1998])

DEGREE OF POTENSIALY VOLCANIC HAZARD		ELEMENT AT RISK				
		SETTLEMENT			AGRICULTURE	FOREST
		TOURISM AREA				
		3			2	1
		HIGH	MODERATE	LOW		
3	2	1				
GEOMORPHIC HAZARD	POTENSIALY VOLCANIC HAZARD					
4	4	9	6	3	16	8
3	3	54	36	18	12	6
2	2	36	24	12	8	4
1	1	18	12	6	4	2

Tabel 5

Klasifikasi Kawasan Rawan Bencana

(Sumber : Bacharudin dan Wirakusumah [1998])

No.	Daerah Rawan Bencana	Range
1	Tinggi	54 – 72
2	Sedang	36 – 53
3	Rendah	18 – 35
4	Sangat Rendah	2 – 17

3.1 Overlaying peta menggunakan SIG

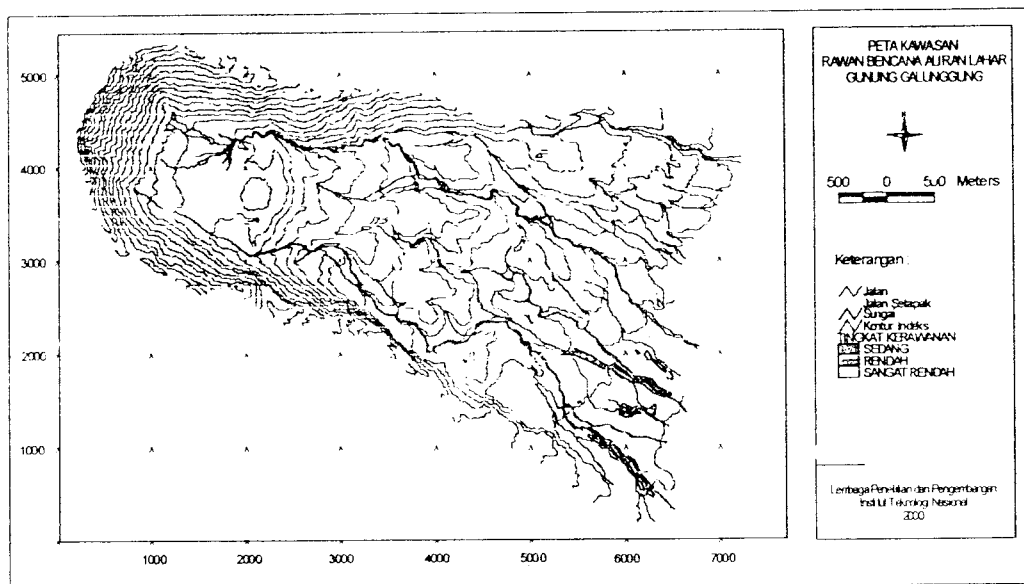
Overlaying peta adalah salah satu fasilitas dari perangkat lunak SIG untuk melakukan analisis spasial. Proses ini adalah suatu proses tumpang susun peta-peta tematik yang kemudian dianalisis berdasarkan bobot masing-masing tema. Berdasarkan akumulasi bobot ini maka hasil akhir proses akan berupa peta yang berisi mosaik peta yang

memiliki bobot. Bobot-bobot tersebut selanjutnya digabungkan dan dibentuk batasan-batasannya (didelineasi) berdasarkan *range* bobot yang telah ditetapkan.

Pada penelitian ini peta-peta tematik yang telah disiapkan selanjutnya diinputkan nilai bobotnya dan *dioverlaykan* satu per satu. Hasil akhir proses ini adalah peta kawasan rawan bencana aliran lahar gunungapi.

3.2 Peta Hasil Proses SIG

Setelah seluruh proses dilaksanakan maka diperoleh hasil seperti yang terlihat pada gambar 8.



Gambar 8
Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi

ANALISIS HASIL PENELITIAN

4.1 Data

- Data tutupan lahan diturunkan dari peta topografi. Informasi yang dapat diambil dari peta tersebut hanyalah daerah permukiman, sawah dan tanah kosong. Informasi mengenai tingkat kepadatan permukiman (tinggi, sedang, dan rendah) diperoleh dari informasi lain. Dengan kondisi data tutupan lahan seperti ini akurasi informasi yang

diperoleh pun kurang begitu baik. Untuk itu perlu dilakukan pengambilan data menggunakan metode lain, misal citra satelit untuk tutupan lahan dan survei lapangan (untuk sampel) untuk mendapatkan informasi tutupan lahan yang lebih akurat.

- Data geomorfologi yang digunakan memperlihatkan klasifikasi morfologi yang terlalu umum karena diturunkan dari peta geomorfologi skala 1 : 25.000, sedangkan peta dasar yang digunakan adalah peta topografi skala 1 : 10.000. Dengan demikian telah terjadi 'gap' informasi di antara kedua peta ini, sehingga tidak ada kesamaan kedalaman informasi. Untuk itu perlu adanya pengklasifikasian morfologi yang lebih detail yang sesuai dengan skala peta dasar yang digunakan.
- Data daerah aliran lahar yang diperoleh dari hasil pemodelan mengandung kelemahan dalam proses *buffering*. Pemberian *buffer* aliran lahar sepanjang 50 m dan 100 m yang dibuat seragam sepanjang aliran sesungguhnya kurang realistis karena seharusnya disesuaikan dengan kondisi fisik daerah aliran lahar. Pada daerah berkelok dan menyempit/terhalang, aliran lahar akan cenderung menyimpang atau menyeleweng dari alur yang sudah diprediksi. Hal ini sering terjadi dan tentunya akan mempengaruhi pemberian bobotnya. Namun demikian, apabila ditinjau lebih dalam bahwa daerah aliran lahar yang digunakan merupakan daerah aliran hasil pemodelan sehingga komponen penyelewengan dan penyimpangan sesungguhnya telah diperhitungkan melalui proses hitungan pengendapan, kecepatan, percepatan dan lain sebagainya. Dengan demikian pemberian *buffer* yang seragam di sepanjang daerah aliran dianggap sudah cukup merepresentasikan tingkat kerawanan di sepanjang daerah aliran lahar.

4.2 Pemberian Score Tema Peta

- Pembobotan setiap tema dibuat pada *range* 1 sampai dengan 4, kecuali untuk perumahan dapat mencapai bobot 9. Hal ini masih memerlukan t suatu kajian khusus untuk dapat mencari hubungan antara satu tema dengan tema lain dan bagaimana masing-masing tema dapat saling mempengaruhi. Hal ini sangat penting karena dapat mempengaruhi hasil akhir. Artinya, suatu daerah dikategorikan berisiko tinggi atau rendah akan sangat tergantung pada proses pembobotan ini.

4.3 Proses Overlay Peta

- Penentuan operasi *overlay* (penjumlahan atau perkalian) untuk memperoleh akumulasi bobot dan pembagian kelas akumulasi bobot pun perlu diintegrasikan dengan pemberian bobot di atas, karena hal ini sangat mempengaruhi hasil akhir. Penentuan batas antar daerah rawan/resiko akan sangat tergantung kepada pembagian ini. Untuk itu perlu pula suatu kajian yang dapat memberikan suatu petunjuk di dalam membagi *range* akumulasi bobot.
- Strategi operasi boolean yang dilakukan pada proses ini dinilai sudah tepat karena menjadikan proses *overlay* lebih efisien, Proses yang seharusnya dilakukan adalah bobot guna lahan dikalikan dengan bobot lahar yang kemudian ditambahkan dengan hasil perkalian antara bobot guna lahan dengan bobot geomorfologi. Apabila proses tersebut diikuti maka harus dilakukan proses *overlay* sebanyak tiga kali. Dengan strategi yang dilakukan pada penelitian ini proses *overlay* menjadi lebih efisien karena hanya memerlukan dua kali *overlaying*, yaitu dengan melakukan penjumlahan antara bobot lahar dengan bobot morfologi terlebih dahulu yang kemudian hasilnya dikalikan dengan bobot guna lahan.

4.4 Hasil Akhir Peta Kawasan Rawan Bencana Aliran Lahar Gunungapi

- Peta kawasan rawan bencana yang dihasilkan telah dapat menunjukkan tingkat kerawanan daerah bahaya akibat aliran lahar yang sesuai dengan kondisi sesungguhnya di lapangan.
- Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa kawasan permukiman penduduk yang padat dikategorikan sebagai daerah dengan tingkat bahaya sedang, sedangkan daerah lain yang berkepadatan sedang dan rendah dikategorikan sebagai daerah yang tingkat kerawanannya rendah. Hal ini perlu dikaji kembali karena posisi perumahan dengan kepadatan rendah dan sedang terletak pada daerah yang relatif dekat ke pusat letusan, walaupun posisinya tidak berhadapan langsung dengan aliran lahar. Dengan demikian perlu dilakukan pengkajian kembali pembobotan untuk wilayah permukiman ini, misalkan dengan memberikan bobot yang lebih tinggi dari yang telah ditetapkan.

- Kondisi seperti kasus permukiman di atas terjadi pula pada daerah kawah. Hasil analisis tidak menunjukkan bahwa kawasan ini merupakan daerah dengan tingkat bahaya tinggi atau sedang. Kondisi ini terjadi karena pembagian *range* kawasan bahaya pada akumulasi bobot yang ditetapkan terlalu sempit untuk kawasan dengan tingkat kerawanan tertinggi serta pembagian tema peta pada data morfologi kurang detil. Di samping itu data aliran lahar hasil pemodelan hanya memperlihatkan kondisi yang mungkin terjadi berdasarkan satu skenario letusan saja, sehingga kemungkinan terjadinya letusan dengan arah dan kekuatan yang berbeda tidak termodelkan. Dengan demikian apabila hasil pemodelan yang dilakukan dapat memperlihatkan beberapa kondisi letusan dari beberapa skenario tidak tertutup kemungkinan akan berdampak pada pengklasifikasian untuk permukiman.

4. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Daerah aliran lahar yang diperoleh dari hasil pemodelan telah dapat memperlihatkan kondisi sesungguhnya, walaupun hanya memperlihatkan satu skenario letusan saja. Pemanfaatan hasil pemodelan tersebut untuk pemetaan kawasan rawan bencana aliran lahar menunjukkan hasil yang baik meskipun masih mengandung kelemahan karena baru memperhitungkan satu skenario letusan.
- Peta kawasan rawan bencana aliran lahar yang dihasilkan dari analisis SIG telah memberikan hasil yang baik, namun demikian masih terdapat kelemahan pada ketiga data masukannya karena perbedaan tingkat kedalaman informasi yang terkandung di dalamnya. Hal ini mengakibatkan peta yang dihasilkan memberikan informasi yang kurang detil.
- Pembobotan yang diterapkan pada proses analisis *overlaying* sudah dapat memberikan hasil yang baik, namun masih memerlukan pengkajian yang lebih mendalam untuk mendapatkan angka bobot yang terbaik dan sesuai dengan tema-tema yang ada.
- Peta kawasan rawan bencana yang dihasilkan sudah dapat memperlihatkan daerah dengan tingkat kerawanan tertentu namun masih memerlukan pengkajian yang lebih mendalam terhadap pengklasifikasian suatu area dengan tingkat resiko tertentu.

2.2 Saran

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan pemodelan aliran lahar yang memperhitungkan semua kemungkinan atau skenario letusan dan arah letusan
- Perlu dilakukan penelitian untuk aliran lahar dingin dengan lokasi rempah vulkanik berada pada lereng-lereng gunungapi dengan sumber air berasal dari curah hujan. Hal ini perlu dilakukan karena kondisi sesungguhnya menunjukkan telah sering terjadi aliran seperti ini.
- Perlu dikaji nilai pembobotan untuk masing-masing tema serta hubungan antar masing-masing tema.
- Perlu dikaji kemungkinan penerapan simulasi untuk bahaya primer maupun sekunder lainnya, seperti jatuhnya/aliran piroklastik dan awan panas untuk melengkapi kajian yang telah dilakukan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aronoff, Stan [1989] : *Geographic Information System : A Management Perspective*, WDL Publication, Ottawa, Canada
- Bacharudin, Rudy [1996]: *Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi*, makalah, Kursus Manajemen Penanggulangan Bencana Letusan Gunungapi, Direktorat Vulkanologi, Yogyakarta.
- Bacharudin, Rudy and Djumarma Wirakusumah [1998] : *The Role of Geomorphology in Volcanic Hazard Mitigation, Applied in Indonesia*, Volcanological Survey of Indonesia, Paper, Remote Sensing and Natural Disaster Symposium, Tsukuba, Japan.
- Borrough, P.A. [1986]: *Principles of Geographical Information System for Land Assessment*, Oxford.
- Bronto, S [1982] : *Geologi G. Galunggung*, Makalah, PIT XI IAGI, Jakarta
- Bronto, S. [1991]: *Mekanisme Lahar*, Makalah, Kumpulan Materi Pelatihan Vulkanologi, Pendidikan dan Pelatihan Dasar Bencana Geologi [1991-1992], Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Chow, Ven Ten [1959]: *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, Inc., Illinois, USA
- Hubbard, Bernard E. and Michael F. Sheridan [1996]: *Computer Generated Flow Models of Pyroclastic surge : Application to the 1965 eruptions of Taal Volcano, Philippines*,

- Taal Decade Volcano Workshop, Department of Geology SUNY at Buffalo, New York
- Kusumadinata, K., [1986]: *Data Dasar Gunung Galunggung*, Makalah dalam Kumpulan Makalah Gunung Galunggung, Direktorat Vulkanologi, Bandung
- Kusumadinata, K.[1979]: *Data Dasar Gunungapi Indonesia*, Direktorat Vulkanologi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Departemen Pertambangan dan Energi, Indonesia.
- Martodjojo, S [1982]: *Laporan Perjalanan Tanggal 13, 14 dan 15 April 1982 ke Gunung Galunggung*, Makalah, Direktorat Vulkanologi, Bandung
- Nugroho, Hary [2000]: *Prediksi Aliran Lahar Gunungapi Menggunakan Pemodelan Spasial Dinamik, Studi Kasus Letusan Gunung Galunggung Tahun 1982*, Tesis Magister, Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Geodesi ITB, Bandung
- Schwind, Joseph J. Von [1980]: *Geophysical Fluid Dynamics for Oceanographers*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA
- Sudrajat, Adjat [1986]: *Catatan Tentang Kronologi Letusan Galunggung 1982-1983*, dalam Kumpulan Makalah Gunung Galunggung, Direktorat Vulkanologi, Bandung
- Takahashi, Tomotsu [1994]: *Prediction of Debris Flow Hydrograph at the Bebung River, Merapi Volcano*, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan
- United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO) [1979] : *Natural Disaster and Vulnerability Analysis*, Report of Expert Group Meeting, Geneva, 9-12 July, 49 pp.
- Wirakusumah, D. [1996]: *Laporan Akhir Supervisi Terowongan Galunggung*, Proyek Pengembangan dan Konservasi Sumber Daya Air Citanduy-Ciwulan, Departemen Pekerjaan Umum.