



JURNAL KEBENCANAAN INDONESIA

No.1/Th.1 November 2006



Fenomena Bencana Alam di Indonesia

Sunarto & Lies Rahayu WF

Tsunami Aceh 26 Desember 2004 : Sebuah pengantar

Danang Sri Hadmoko, Franck Lavigne, Raphael Paris

Banjir Genangan di Kawasan Pesisir Akibat Kenaikan Muka Air Laut

Muh Aris Marfai, Junun Sartohadi, Sudrajat, Sri Rahayu & Fajar Yulianto

Risiko Tsunami di Pantai Selatan Jawa

Djati Mardiatno

Aspek Morfologi terhadap Bahaya Gunungapi Merapi

Abdur Rahman & Widiyanto

Pengkajian Mitigasi Tanah Longsor Pasca Gempabumi 27 Mei 2006

di Dusun Gunung Kelir Kecamatan Girimulyo

Kabupaten Kulonprogo

Winaryo & Sunarto

Sistem Informasi Gunungapi Merapi

Dulbahri

2584

879

B

1

**PUBLIKASI ILMIAH
PUSAT STUDI BENCANA UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

Diterbitkan oleh:
Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Yogyakarta
Telepon/Faximile: (0274) 548812
e-mail: psba_ugm@yahoo.com

PEMIMPIN UMUM
Sunarto

PEMIMPIN REDAKSI
Sutikno

DEWAN REDAKSI

Sunarto
Diah Tri Widayati
Lies Rahayu W.F
Danang Sri Hatmoko
Aris Marfai



REDAKTUR PELAKSANA

Sri Yulianti Winaryo
Emi Dwi Suryanti Adi Widagdo
Ananta Purwoarminta

DESAIN dan TATA LETAK
Mujiyono

SIRKULASI
Jangka Purwana

KEUANGAN
Rini Subekti

Jurnal Kebencanaan Indonesia merupakan jurnal yang terbit dua kali setahun, setiap bulan Mei dan November. Redaksi menerima tulisan atau hasil penelitian (riset) tentang kebencanaan di Indonesia. Naskah harus belum pernah dipublikasikan dalam media cetak lain, berupa ketikan asli dengan jarak spasi 1,5 dan jumlah halaman berkisar 10-20 halaman. Redaksi berhak membuat perubahan dalam karangan tanpa mengubah isi atau maksud karangan.

PENGANTAR REDAKSI

Kecemasan masyarakat terhadap ancaman anekaragaman bencana di Indonesia perlu diantisipasi melalui komunikasi informasi yang benar tentang kebencanaan. Dari pengalaman terjadinya bencana beberapa tahun terakhir ini, hampir selalu disertai dengan jatuhnya banyak korban, akibat ketidaktahuan dan ketidaksiapan masyarakat dalam menghadapi bencana. Merupakan sesuatu hal yang sangat ironis, ketika hasil-hasil penelitian tentang kebencanaan telah tersedia cukup banyak di Indonesia, bahkan pemerintah telah menindaklanjuti dengan kebijakan penanggulangan bencana nasional, ternyata informasi-informasi tersebut belum banyak diketahui dan dipahami oleh masyarakat. Tidak dapat ditawar lagi mediasi untuk komunikasi informasi tentang kebencanaan sangat diperlukan kehadirannya. *Jurnal Kebencanaan Indonesia* ini hadir sebagai wujud sumbangsih dari Pusat Studi Bencana UGM, untuk media komunikasi informasi hasil-hasil penelitian ilmiah tentang kebencanaan, menjadi sarana tukar-menukar IPTEKS kebencanaan di antara para pakar, serta menjadi media edukasi tentang kebencanaan bagi masyarakat.

Dalam edisi pertama ini disajikan artikel tentang kebencanaan secara umum, disamping beberapa studi kasus mengenai tsunami, banjir, longsor dan kegungupian. Abstraksi dari tujuh artikel ilmiah yang dimuat dalam edisi ini meliputi informasi ilmiah tentang (1) Fenomena Bencana Alam di Indonesia, yang menjelaskan kepada pembaca tentang hukum-hukum alam dan kejadian bencana dipandang dari sudut kedinamisan proses di bumi; (2) Tsunami Aceh 26 Desember 2004, yang mengulas tentang karakteristik hidrologis tsunami yang dipengaruhi oleh proses kejadian awal serta kondisi litoral dan morfologi pesisirnya, dampak terhadap lingkungan yang meliputi dampak geomorfologis, hidrologis dan biologis; serta perkembangan prevensi dan prediksi bencana tsunami di Indonesia; (3) Banjir Genangan Kawasan Pesisir memaparkan tentang dampak kenaikan air laut terhadap penggunaan lahan kawasan pesisir di sebagian daerah Semarang, yang disertai dengan ulasan model genangan akibat kenaikan muka air laut dengan menggunakan data digital berformat raster; (4) Risiko Tsunami di Pantai Selatan Jawa, memaparkan kondisi geologis dan geomorfologis pantai selatan terhadap risiko bencana tsunami; (5) Aspek Morfologi terhadap Bahaya Gunungapi Merapi, memaparkan tentang Gunungapi Merapi yang ditentukan oleh morfologi puncak atau kerucut bagian atas, morfologi lereng dan morfologi sungainya; (6) Mitigasi Tanah Longsor Pasca Gempabumi di Gunung Kelir, memaparkan pengaruh gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 yang menggoyahkan kecondongan rekahan batuan yang ada di Gunung Branti dan Gunung Besar, sehingga dikhawatirkan bongkahan batuan akan jatuh ke pemukiman penduduk di bawahnya; survei dan pemetaan detail di daerah ini dilakukan menentukan tingkat risiko bencana longsor batuan; dan (7) SIG untuk Merapi, memaparkan cara membentuk database khusus untuk vulkan Merapi.

Keanekaragaman bencana di Indonesia disamping mengundang ancaman sekaligus merupakan laboratorium alam untuk ajang penelitian kebencanaan di negara kita. Alam Indonesia menunggu uluran para pakar dan pemerhati kebencanaan untuk menggali dan mengembangkan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni (IPTEKS) untuk mitigasi bencana dan *Jurnal Kebencanaan Indonesia* siap menjadi media komunikasi informasi kebencanaan dari para peneliti dan pemerhati bencana.

Salam redaksi,

DAFTAR ISI

	Halaman
Pengantar Redaksi	i
Daftar isi	ii
Fenomena Bencana Alam di Indonesia Sunarto dan Lies Rahayu WF	1 - 5
Tsunami Aceh 26 Desember 2004 : Sebuah Pengantar Danang Sri Hadmoko, Franck Lavigne, dan Raphael Paris	6 - 16
Banjir Genangan di Kawasan Pesisir Akibat Kenaikan Muka Air Laut Muh Aris Marfai, Junun Sartohadi, Sudrajat, Sri Rahayu Budiani, Fajar Yulianto	17 - 22
Risiko Tsunami di Pantai Selatan Jawa : Belajar dari Kejadian Tsunami di Banyuwangi pada Tahun 1994 dan di Pangandaran pada Tahun 2006 <i>Djati Mardiatno</i>	23- 27
Aspek Morfologi Terhadap Bahaya Gunungapi Merapi Widiyanto dan Abdur Rahman	28 - 34
Pengkajian Mitigasi Tanah Longsor Pasca Gempabumi 27 Mei 2006 Di Dusun Gunung Kelir, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta Winaryo dan Sunarto	35 - 40
Sistem Informasi Gunungapi Merapi Dulbahri	41 -46

FENOMENA BENCANA ALAM DI INDONESIA

Sunarto¹ dan Lies Rahayu WF¹

¹ Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada

Abstract

The position of Indonesian archipelago between three tectonic plates and also geographically it's located on tropical, characterized by many natural dynamics which are causing many disasters, such as earthquake, tsunami, volcanic eruption, floods, landslide, and drought. Actually many kinds of disaster were happened in Indonesia recently just only the dynamics natural processes.

Disaster management and disaster risk valuation are the key concept to prevent human life. By the way the maps of hazard vulnerability and risk are needed. Natural disaster will be happen again and again, we cannot stop it. All people must be aware to learn about disaster education, and standby with their early warning system.

Keywords : earthquake, tsunami, volcanic eruption, floods, landslide, drought

A. Keseimbangan Dinamis

Segala sesuatu yang ada di Bumi ini selalu mengalami dinamika. Dinamika yang terjadi selalu berlangsung sesuai dengan hukum-hukum alam, sehingga dinamika itu bersifat siklik (mendaur) dan ritmik (seirama). Karena bersifat siklik dan ritmik, maka dinamika itu berlangsung secara harmonis, tidak bertentangan dengan hukum alam (Sunarto, 2006).

Dinamika yang berlangsung secara siklik, ritmik, dan harmonis tersebut selalu mengarah kepada keseimbangan alami atau ekuilibrium alami. Di dalam keseimbangan alami, dinamika yang berlangsung di alam ini berbentuk sirkulasi pada bilik-bilik atau sering disebut sebagai bilik sirkulasi (*circulation cell*). Di dalam bilik sirkulasi itu dapat berlangsung secara bebas di alam ini, seperti di udara, di dalam air, di dalam Bumi, ataupun di ruang angkasa. Dapat dicontohkan, bilik sirkulasi yang terdapat di udara di antaranya adanya angin darat (malam) dan angin laut (siang), atau angin lembah (siang) dan angin gunung (malam). Bilik sirkulasi di dalam air dapat dicontohkan adanya umbalan (*upwelling*) dan surutan (*downwelling*) di laut. Contoh bilik sirkulasi di dalam Bumi adalah bilik konveksi (*convection cell*). Bilik sirkulasi di

ruang angkasa di antaranya revolusi Bulan terhadap Bumi atau revolusi Bumi terhadap Matahari, serta peredaran benda-benda angkasa pada orbitnya.

B. Gerak Lempeng Tektonik

Telah disebutkan di muka, bahwa bilik konveksi merupakan bilik edar magma di dalam Bumi. Peredaran magma di dalam Bumi tersebut menyebabkan lempeng-lempeng tektonik mengalami pergeseran atau lebih dikenal dengan istilah hanyutan benua. Di Bumi ini terdapat tujuh lempeng tektonik besar (lihat Gambar 1) yang kesemuanya bergerak dengan arah dan kecepatan yang tidak sama. Ketujuh lempeng tektonik besar itu adalah (1) Lempeng Eurasia, (2) Lempeng Pasifik, (3) Lempeng Hindia-Australia, (4) Lempeng Afrika, (5) Lempeng Amerika Utara, (6) Lempeng Amerika Selatan, dan (7) Lempeng Antartika (Murck dkk., 1996). Lempeng-lempeng tektonik tersebut dalam kondisi yang dinamis dan bergerak secara mendatar seperti hanyut. Oleh karena itu, gerakan lempeng tektonik itu lebih banyak dikenal sebagai hanyutan benua.

Arah dan kecepatan gerakan lempeng tektonik tidak sama, sehingga dapat menyebabkan terjadinya tumbukan antarlempeng tektonik.

Meskipun gerakan lempeng tektonik itu relatif lambat, namun tumbukan antarlempeng tektonik yang merupakan

perbenturan massa yang sangat besar itu dapat menghasilkan akumulasi energi yang sangat besar. Akumulasi energi yang amat besar tersebut sewaktu-waktu terlepas, sehingga terjadi gempa bumi (Sudradjat, 1999).



Gambar 1. Lempeng Tektonik di Bumi (Murck dkk., 1996)

Dari ketujuh lempeng tektonik tersebut, tiga lempeng tektonik yang pertama bergerak dan bertumbukan di wilayah Indonesia. Menurut Minster dan Jordan (1978, di dalam: Verstappen, 2000) Lempeng Eurasia bergerak ke arah timur dengan kecepatan sekitar 1 cm/tahun, sedangkan Lempeng Hindia-Australia bergeser ke arah utara dengan kecepatan rata-rata 7 cm/tahun dan Lempeng Pasifik bergeser ke arah barat dengan kecepatan rata-rata 9 cm/tahun. Akibatnya, wilayah Indonesia banyak gempa bumi dengan jumlah kejadian dan kekuatan yang berbeda-beda, serta berbagai batuan yang dijumpai di wilayah Indonesia kebanyakan telah patah, retak-retak, atau bahkan rapuh.

Yang sering dipertanyakan adalah mengapa lempeng tektonik itu bergerak? Lempeng tektonik dapat bergerak akibat pengaruh dari arus konveksi magma di dalam Bumi. Tetapi mengapa di dalam Bumi terjadi arus konveksi magma? Hal ini salah satunya dipengaruhi oleh perputaran Bumi pada porosnya atau sering dikenal dengan rotasi Bumi.

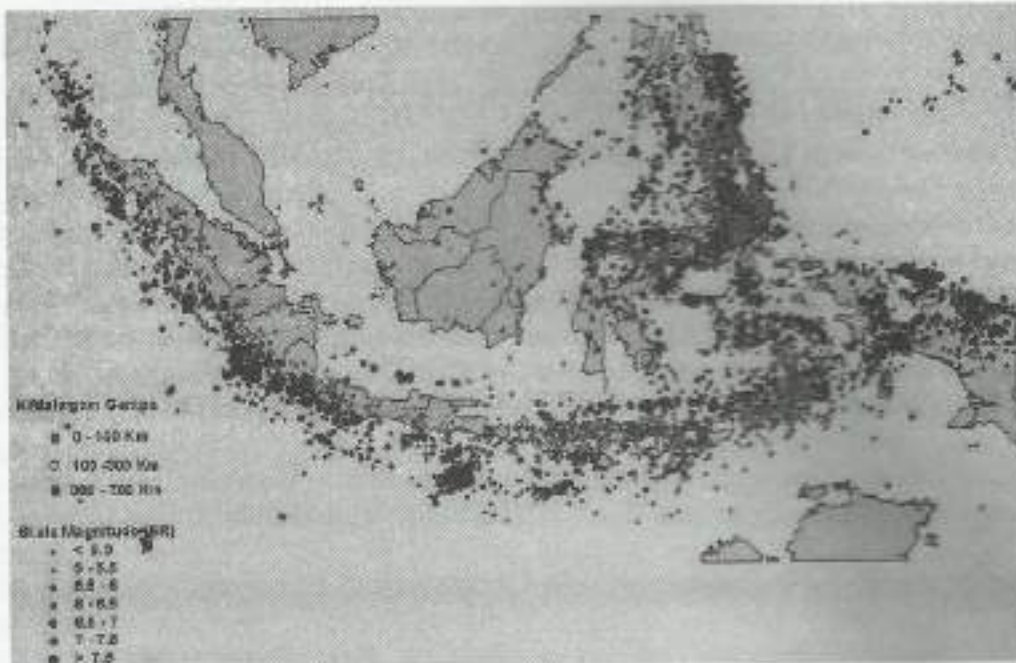
C. Gempabumi

Masyarakat Indonesia hidup dan berkehidupan di wilayah kepulauan dengan ancaman bencana gempa bumi, akibat tumbukan lempeng tektonik ketika terjadi hanyutan benua. Benua terjadi dari batuan yang berlapis-lapis. Gaya putar Bumi menyebabkan lapisan-lapisan batuan saling menekan dan saling bertumbukan. Perlapisan batuan itu pada mulanya mampu menyerap energi akibat pergeseran tersebut, namun lama kelamaan energi yang terserap itu terakumulasi, sehingga menimbulkan tegangan di dalam batuan. Jika tegangan tersebut begitu besarnya dan perlapisan batuan sudah tidak mampu lagi menyerapnya, maka terjadilah pelepasan energi yang terakumulasi di dalam batuan itu dalam bentuk gelombang seismik. Gelombang seismik tersebut merambat sampai ke permukaan Bumi, sehingga menimbulkan guncangan atau gempa bumi

(Sunarto, 2005).

Pelepasan energi gelombang seismik tersebut umumnya ditandai dengan pecahnya atau pergeseran perlapisan batuan di dalam Bumi. Oleh sebab itu, pusat-pusat gempa bumi umumnya terletak di sepanjang

patahan. Karena patahan, retakan, dan gempa bumi itu terjadi akibat subduksi; maka pada zona subduksi atau zona tumbukan itu banyak terdapat titik-titik pusat gempa bumi (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Persebaran Pusat-pusat Gempabumi di Indonesia (Sumber: BMG, 2003)

D. Gunungapi

Zona patahan atau zona sesar merupakan zona yang lemah dan mudah diterobos oleh aliran magma ke arah luar membentuk gunungapi. Oleh karena itu, di wilayah Indonesia ini banyak dijumpai gunungapi. Katili dan Siswamidjojo (1994) menyatakan, bahwa para pakar kebumihan telah mencatat lebih kurang 400 gunungapi Kuarter yang tersebar di Sumatra, Jawa, Bali, Nusatenggara, Sulawesi Utara, Halmahera, dan Laut Banda. Dari 400 gunungapi di Indonesia tersebut, 129 gunungapi di antaranya dalam kondisi aktif. Menurut Tomascik dkk. (1997), dari 800 gunungapi aktif di dunia, 75%-nya atau ada pada *the Ring of Fire* yang melintasi wilayah Indonesia pula.

Berdasarkan uraian di muka dapatlah diketahui, bahwa konfigurasi permukaan Bumi di wilayah Indonesia sangat ditentukan oleh tumbukan tiga lempeng tektonik. Tumbukan lempeng tektonik

menyebabkan gempa bumi dan penunjaman kerak bumi. Penunjaman kerak bumi dapat diartikan sebagai pemasokan material mentah untuk magma karena pelunakan dan pelelehan batuan yang menunjam tersebut. Magma yang meleleh tersebut menambah isi kandungan yang ada di dalam Bumi. Akibatnya, magma yang ada di dalam Bumi bergerak naik melalui sesar-sesar yang menyebabkan aktifnya kembali gunungapi yang sudah ada. Dengan demikian, hal-hal tersebut sangat erat kaitannya dengan pembentukan roman-muka Bumi.

Roman-muka Bumi dapat berupa timbunan ataupun lembah. Konfigurasi roman-muka Bumi ini menyebabkan terjadinya perbedaan angin, suhu, hujan, dan kelengasan. Perbedaan karakteristik klimatologis tersebut yang mempengaruhi kehidupan manusia serta hewan dan tumbuhan di permukaan Bumi. Kondisi inilah yang menimbulkan serentetan jenis-jenis bencana alam.

E. Klasifikasi Bencana

Bencana merupakan suatu peristiwa atau serangkaian peristiwa yang terjadi secara mendadak maupun perlahan-lahan, yang disebabkan oleh alam, manusia, atau kedua-duanya dengan menimbulkan akibat bagi pola kehidupan dan penghidupan, gangguan pada sistem pemerintahan yang normal, atau kerusakan ekosistem, sehingga diperlukan tindakan darurat untuk menolong dan menyelamatkan manusia dan lingkungannya. Berdasarkan faktor genetiknya, bencana dapat dikelompokkan menjadi tiga klas, yaitu bencana alam (*natural disasters*), bencana biologis (*biological disaster*), serta bencana antropogenik (*anthropogenic disasters*). Berikut ini disajikan jenis-jenis bencana dari masing-masing kelompok.

Jenis-jenis bencana alam meliputi badai, banjir, erupsi gunungapi, gempabumi, tsunami, longsor, dan bencana meteorik. Jenis-jenis bencana biologis mencakup epidemi, penyakit tanaman, *pest*, dan kepunahan spesies (*species extinction*). Jenis-jenis bencana antropogenik antara lain bencana teknologi (kebocoran instalasi nuklir), bencana struktural (kekeliruan dalam pengambilan kebijakan oleh pimpinan), bencana sosial, serta bahaya moral (*moral hazard*) (Sunarto dan Lies Rahayu, 2006).

F. Rentetan Bencana Di Indonesia

Wilayah Indonesia sejak tahun 2004 hingga sekarang mengalami serentetan kejadian bencana alam, di antaranya gempabumi (Nias, Yogyakarta, Luwuk, Gorontalo), tsunami (Aceh dan Pangandaran), banjir bandang (Jember dan Sulawesi Selatan), banjir inundasi (Kutai), kekeringan (NTB dan NTT), longsor (Banjarnegara dan Trenggalek), badai (Ambon), erupsi gunungapi (G. Merapi dan G. Talang).

Rentetan kejadian alam yang menimbulkan bencana, jika ditinjau dengan lebih seksama, sebenarnya adalah proses

alam biasa yang menimpa manusia. Banyaknya bencana alam yang akhir-akhir ini menimpa banyak tempat di Indonesia, sebenarnya pernah terjadi pula pada masa lampau, meskipun intensitasnya berlain-lainan. Mengapa kejadian ini berlangsung secara beruntun? Hal itu pada dasarnya tidak dapat lepas dari posisi geografis wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Wilayah Indonesia ini dapat dikatakan secara rutin atau terus-menerus selalu mengalami bencana. Pada musim penghujan selalu terjadi bencana banjir dan longsor, sedangkan pada musim kemarau selalu terjadi kekeringan dan kebakaran hutan. Bencana yang tidak rutin antara lain adalah gempabumi dan tsunami.

Karena bencana selalu terjadi di negeri ini, maka perlu kiranya secepatnya menerapkan manajemen kebencanaan (*disaster management*), termasuk penilaian risiko bencana. Untuk melaksanakan manajemen kebencanaan terlebih dahulu diawali dengan pemetaan daerah rawan bencana (Oya, 2001; Glade et.al., 2006; Casale and Margotinni, 2004; Panizza, 1996). Dengan mengetahui persebaran daerah rawan bencana, maka akan lebih meringankan dalam upaya mitigasi bencana maupun memperkecil risiko bencana.

G. Kesimpulan

Bumi ini selalu berproses dalam perubahan menuju ke suatu keseimbangan. Proses tersebut bersifat siklik, ritmik, dan harmonik, sehingga keseimbangan yang dicapai juga bersifat dinamik.

Wilayah Indonesia secara rutin mengalami bencana. Bencana yang terjadi dapat disebabkan oleh faktor alam (gempabumi, tsunami, badai, banjir, longsor, kekeringan), oleh faktor biologis (epidemi, penyakit tanaman, *pest*, kepunahan spesies), maupun oleh faktor antropogenik (teknologi, struktural, moral). Hal ini salah satunya disebabkan letak geografis wilayah RI, yang terletak di antara dua benua, dua samudra, dan pertemuan tiga lempeng tektonik yang saling bertumbukan.

Karena wilayah RI secara rutin mengalami bencana, maka mau tidak mau pelaksanaan manajemen kebencanaan harus segera dilaksanakan. Untuk mendukung upaya tersebut terlebih dahulu diketahui bersama daerah-daerah yang rawan dan berisiko bencana tinggi. Oleh karena itu, pemetaan daerah rawan bencana maupun pemetaan tingkat risiko bencana menjadi dasar yang pokok untuk menunjang pelaksanaan manajemen bencana.

H. Daftar Pustaka

- BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika), 2003, *Peta persebaran pusat gempabumi di Indonesia*, Departemen Perhubungan RI, Jakarta.
- Casale, R. And C. Margottini Eds., 2004, *Natural Disasters and Sustainable Development*, Springer-Verlag, Berlin.
- Glade, T., M. Anderson and M.J. Crozier, 2006, *Landslide Hazard and Risk*, John Wiley and Sons, Chichester.
- Katili, J.A. dan S.S. Siswoidjojo, 1994, *Pemantauan Gunungapi di Filipina dan Indonesia*, IAGI, Bandung.
- Murck, B.W., B.J. Skinner, and S.C. Porter, 1996, *Environmental Geology*, John Wiley & Sons, New York.
- Oya, M., 2001, *Applied Geomorphology for Mitigation of Natural Hazards*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Panizza, M. 1996, *Environmental Geomorphology*, Elsevier, Amsterdam.
- Sudrajat, A., 1999, *Teknologi & Manajemen Sumberdaya Mineral*, Penerbit ITB, Bandung.
- Sunarto, 2005, Bencana Gempabumi dan Akibatnya, *Majalah BISMA*, No. 2/ Th. I: 56-58.
- Sunarto, 2006, Mencegah dan Menanggulangi Bencana Alam dari Faktor Perubahan Alam, *Makalah Seminar Nasional Manajemen Bencana*, Lembaga Pelayanan Kristen, Solo.
- Sunarto dan Lies Rahayu W.F., 2006, *Manajemen Risiko Bencana di Jawa Tengah*, *Makalah Seminar Nasional Revitalisasi Tata Ruang dalam Rangka Pengendalian Bencana Banjir dan Tanah Longsor*, PPLH Regional Jawa, Semarang.
- Tomancik T., A.J. Mah, A. Nontji, dan M.K. Moosa, 1997, *The Ecology of the Indonesian Seas*, Part 1, Periplus Editions, Singapore.
- Verstappen, H. Th., 2000, *Outline of the Geomorphology of Indonesia: a Case Study on Tropical Geomorphology of a Tectogene Region*, ITC, Enschede.



TSUNAMI ACEH 26 DESEMBER 2004: Sebuah Pengantar

Danang Sri Hadmoko^{1,3}, Franck Lavigne², Raphael Paris³

¹ Fakultas Geografi dan Pusat Studi Bencana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

² Laboratoire de Géographie Physique UMR 8591 CNRS, Meudon, France

³ Géolab UMR 6042 CNRS, Clermont-Ferrand, France

Abstract

The aim of this paper is presenting the general overview of 26th December 2004 of Aceh's tsunami and providing numerous tsunamis occurred in the world since XIX century. This paper is a part of a result of French-Indonesian collaboration program called Tsunamisque that run two years in 2005 and 2006. This paper is started by the Indonesian conditions that influence the tsunami hazard, continued by the theoretical framework of hydrological properties of tsunami, followed by description of environmental effects of tsunami and concluded by the state of the art of tsunami's prevention and prevision in Indonesia combined with the examples of several parts in world.

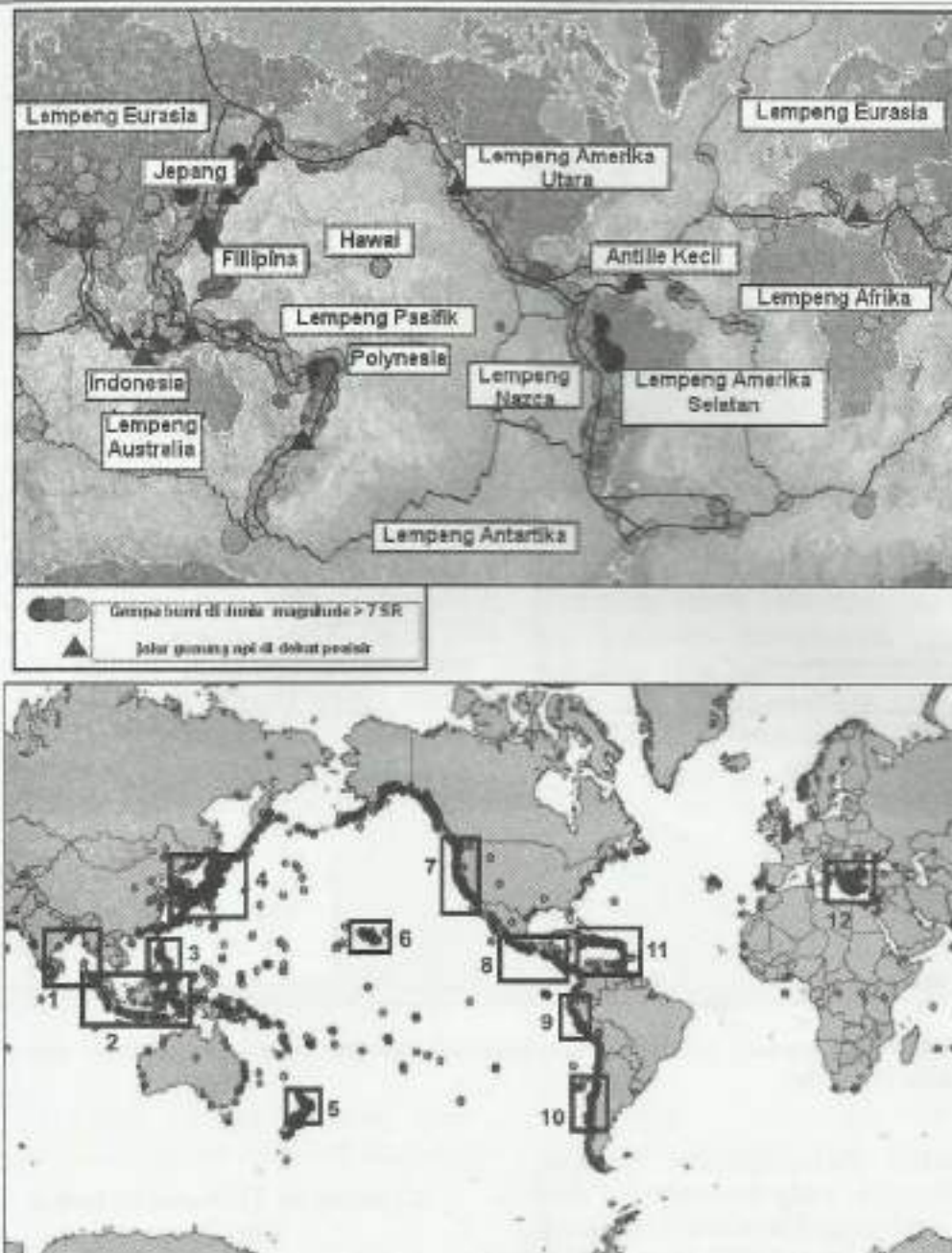
Keywords: tsunami, aceh, environmental effects, prevention and prevision

A. Indonesia : Negara rawan terhadap tsunami

Tsunami merupakan gelombang laut yang menuju daerah kepesisiran yang dicirikan oleh gelombang dengan energi yang besar dan mengakibatkan terjadinya genangan di daerah kepesisiran. Terminologi tsunami berasal dari bahasa jepang yang berarti gelombang pelabuhan (*harbour wave*). Penamaan lain yang telah digunakan sebelumnya adalah gelombang laut seismik (*seismic sea wave*), hal ini disebabkan oleh pemicu utama tsunami adalah gelombang seismik (82,3%). Pesisir-pesisir yang berdekatan dengan zona konvergensi (pesisir cekung) adalah daerah yang relatif lebih rawan terhadap tsunami seperti Cilli dan Peru (570, 1746, 1868, 1960), Jepang (332 tsunami terjadi antara tahun 684 dan 1984, dimana 65 kejadian diklasifikasikan sebagai tsunami besar menurut NOAA), Karibia (127 tsunami dimana 80 mengakibatkan 3 000 korban sejak tahun 1498), Indonesia (11 tsunami yang menyebabkan korban jiwa sejak 1965, 235 tsunami terjadi sejak empat abad terakhir) (O'Loughlin & Lander, 2003). Ditinjau dari resiko yang ditimbulkan, pesisir yang paling rentan adalah pesisir dengan jumlah dan kepadatan penduduk yang tinggi, serta infrastruktur yang padat (Gambar 1).

Hampir 75% daerah kepesisiran di Indonesia rawan tsunami atau setara dengan

panjang garis pantai sekitar 12 000 km. Sebelum tsunami 26 Desember 2004 terjadi di samodera Hindia (lebih dari 220.000 orang meninggal dan hilang), 10 tsunami besar telah terjadi selama 15 tahun terakhir dengan jumlah korban sekitar 4000 jiwa. Jumlah korban keseluruhan akibat tsunami selama 450 tahun adalah 470.000 jiwa dengan 110 000 terjadi di Jepang dan 220.000 terjadi di Indonesia (*National Geophysical Data Center, NOAA*). Propagasi gelombang tsunami di daerah yang jauh terjadi juga pada daerah dengan sismik yang kecil seperti yang terjadi di kepulauan Pasifik (Hawai, Polinesia), Sri Lanka dan pesisir Australia. Sebagian daerah tersebut tidak terlalu rawan jika dilihat dari sisi periode ulang tsunami. Longsor dasar laut dan letusan gunung api juga dapat memicu terjadinya tsunami yang besar (contoh : letusan gunung api Krakatau tahun 1883 di Indonesia).



Gambar 1. Peta dunia yang menunjukkan sumber potensial tsunami yang diinventarisasi sejak 2000 tahun dan daerah - daerah utama yang rentan (1:Gulf Bengale 2 : Indonesia; 3 : Filipina; 4 : Jepang; 5 : Selandia baru Utara; 6 : Hawaii; 7 : Pesisir Washington dan California; 8 : Amerika Tengah; 9 : Peru; 10 : Chilli Tengah; 11 : Antille; 12 : Cekungan Timur Mediteran.

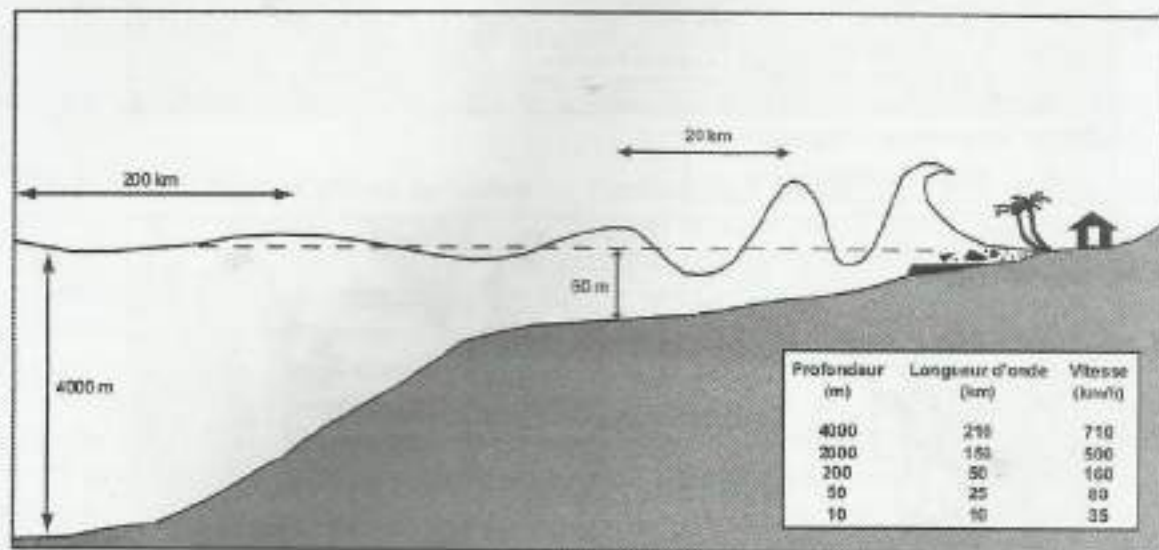
**B. Karakteristik Hidrologis Tsunami :
tinjauan teoritik**

Karakteristik hidrologis tsunami dipengaruhi oleh kejadian yang mengawalinya, kedalaman daerah litoral dan morfologi pesisirnya. Terminologi yang digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik hidrologi ge-

lombang laut dapat juga digunakan untuk mendeskripsikan gelombang tsunami. Panjang gelombang menggambarkan jarak antara dua puncak yang berdekatan. Rata-rata panjang gelombang laut adalah 100 meter akan tetapi dapat mencapai 200 km untuk gelombang tsunami. Amplitudo gelombang adalah perbedaan tinggi antara puncak gelombang

dengan lembah gelombang. Amplitudo gelombang di laut bebas biasanya kecil (< 1 meter). Gelombang tsunami terbentuk di laut lepas dengan kecepatan beberapa ratus kilometer per jam (180 km/jam untuk tsunami 2 september 1992 di Nicaragua, 800 km/jam untuk tsunami 1 April 1946 antara Alaska dan Hawaii, 800-900 km/jam untuk tsunami 26 Desember 2004 di samodera Hindia.) Kecepatan bangkitan gelombang tsunami meningkat dengan kedalaman air akan tetapi menurun dengan rugositas dasar laut (Gambar 2). Tsunami yang terjadi dihambat

secara kuat oleh dasar laut sehingga amplitudo gelombang meningkat secara ekstrim pada saat mencapai pesisir. Gelombang tersebut terbentuk diiringi dengan transformasi antara energi kinetik yang menurun dengan energi potensial yang meningkat. Transformasi tersebut tergantung pada karakteristik pesisir, propagasi gelombang di daratan, dan kemampuan destruktif gelombang.



Gambar 2. Penurunan panjang gelombang dan kecepatan gelombang tsunami sebagai fungsi dari kedalaman air.

Tsunami diklasifikasikan berdasarkan magnitudenya, yang berhubungan dengan energi total yang dibebaskan oleh tsunami. Beberapa skala magnitudo tsunami telah digunakan secara luas selama ini, antara lain Imamura (1942) dan dikembangkan oleh Iida (1956) dengan klasifikasi yang sederhana dan praktis akan tetapi tidak memperhatikan karakteristik spasial tsunami. Enam kelas magnitudo tsunami (m) dihitung berdasarkan nilai logaritmik berbasis 2 dari ketinggian maksimum gelombang utama di pesisir (H_{max}): $m = \log_2 H_{max}$. Berdasarkan estimasi pertama ketinggian gelombang, tsunami 26 Desember 2004 adalah diklasifikasikan sebagai magnitudo 2 di Thailand, Sri Lanka, dan India; magnitudo 3 sampai 4 di pantai barat laut Sumatra yang terletak antara 50 sampai 250 km dari episenter.

C. Dampak Tsunami terhadap Lingkungan

Dampak tsunami terhadap lingkungan meliputi dampak geomorfologis, hidrologis dan biologis. Peranan tsunami dalam evolusi morfologi dan sedimen daerah kepesisiran merupakan tema penelitian yang banyak disinggung di dalam literatur (Dawson, 1994; Bryant *et al.*, 1996; Felton & Crook, 2003; Scheffers & Kelletat, 2003; Nott, 2004). Tsunami dengan magnitudo besar menyebabkan perubahan kondisi geomorfologis secara ekstrem dalam beberapa menit (erosi dan pemunduran garis pantai), perpindahan sedimen dasar laut menuju ke daratan dan daerah litoral. Dampak tersebut terbentuk sekitar beberapa ratus kilometer di

pesisir sampai beberapa kilometer di daratan. Banyak penelitian telah dilakukan mengenai endapan pasir tsunami dan bongkahan batu-batu akibat tsunami sebelumnya (Tabel 1). Identifikasi dan analisis endapan tsunami memungkinkan untuk mengetahui sedimen yang ditinggalkan oleh tsunami, merekonstruksi interval periode ulang seismik dan mengestimasi resiko tsunami pada skala lokal dan regional, sehingga penelitian setelah tsunami penting dilakukan untuk mengetahui kenampakan geomorfologis akibat tsunami (Synolakis & Okal, 2005). Beberapa penelitian telah dilakukan setelah tsunami di Flores yang terjadi pada tahun 1992 (Shi *et al.*, 1995 ; Minoura *et al.*, 1997) dan Nikaragua (Bourgeois & Reinhart, 1993 ; Satake *et al.*, 1993), 1993 di Hokkaido (Nishimura & Miyaji, 1995 ; Sato *et al.*, 1995), tahun 1994 di Jawa Timur (Dawson *et al.*, 1996 ; McSaveney *et al.*, 2000), tahun 1998 di Papua Nugini (Gelfenbaum & Jaffe, 2003) dan di Peru tahun 2001 (Okal *et al.*, 2002 ; Jaff c *et al.*, 2003). Meskipun demikian, dampak geomorfologis dan biologis tsunami sangat sedikit yang terdokumentasi. Hanya beberapa peneliti yang telah mencoba mengkorelasikan endapan tsunami dengan bentuk dan proses erosi yang terjadi (Andrade, 1992 ; Shi *et al.*, 1995 ; Bryant *et al.*, 1996 ; Bondevik *et al.*, 1997 ; Gelfenbaum & Jaffe, 2003).

Dampak biologis tsunami sampai saat ini sangat sedikit yang terdokumentasi.

Proses mekanik gelombang tsunami menyebabkan kerusakan biota neritik, *inter-tidal* dan litoral. Pantai terumbu juga rawan terhadap kerusakan terhadap tsunami (contoh Hawaii, Indonesia, Polinesia), akibat dampak mekanik tsunami dan materi tersuspensi beberapa minggu setelah kejadian. Aliran air asin ke daratan sangat membahayakan tanaman dan beberapa spesies yang sensitive terhadap garam laut (contoh : Flores tahun 1992). Tsunami yang menerjang Indonesia (1992, 1994) dan Papua Nugini (1998) telah menunjukkan peranan mangrove sebagai pelindung, yang mengurangi dampak mekanis tsunami yang didasarkan pada hasil simulasi analogis (BPPT, 2003). Aktivitas manusia dan tekanan akibat aktivitas pertanian mengancam kehidupan mangrove akibat eksploitasi sumberdaya, meningkatnya turbiditas yang terkait dengan erosi dipercepat daerah penggundulan hutan, dan aktivitas akuakultur (tambak udang) terjadi di beberapa negara di Asia Tenggara. Di beberapa tempat, aktivitas manusia di daerah pesisir meningkat tajam seperti aktivitas pertanian, industri dan perkembangan kota, seperti yang terjadi di Banda Aceh dan Sumatra.

Tabel 1. Publikasi utama tentang endapan pasir dan bongkah akibat tsunami sebelum tahun 1950 di dunia.

No	Negara	Dacrah	Pengarang	Umur Tsunami
1	Australia	Pantai tenggara	Bryant <i>et al.</i> (1996)	Pleistosen
2	Australia	Pantai tenggara	Bryant et Nott (2001)	Pleistosen
3	Australia	Grand barrier	Nott (1997)	2 sejak 1000 BP
4	Kanada	Colombie Britan- nique	Clague <i>et al.</i> (2000)	7 sejak 3500 BP
5	Karibia	Bahama	Hearty (1997)	3500, 1500 et 500 BP
6	Karibia	Bahama	Kelletat <i>et al.</i> (2004)	2 antara 3000 et 500 BP
8	Spanyol	Pesisir Utara	Whelan & Kelletat (2005)	1755
9	Spanyol	Pesisir Selatan	Pérez Torrado <i>et al.</i> (2006)	800-700 ribu tahun
10	Chili	Pesisir utara	Cantalamessa & Di Celma (2005)	Miosen
11	Chili	Pesisir utara	Le Roux <i>et al.</i> (2004)	Pliosien
12	Chili	Pesisir utara	Cisternas <i>et al.</i> (2005)	1575, 1737 et 1837
13	Spanyol	Pesisir Atlantik	Whelan & Kelletat (2005)	1755
14	Spanyol	Pulau Kanari	Pérez Torrado <i>et al.</i> (2006)	800-700 ribu tahun
15	Perancis	Polynésie - Taa- motu	Bourrouilh-Le Jan & Talandier (1985)	?
16	Perancis	Polynésie - Taa- motu	Harmelin-Vivien & Laboute (1986)	?
17	Indonesia	Selat Sunda	Carey <i>et al.</i> (2001)	1883
18	Italia	Pesisir Ioinenne	Mastroruzzi & Sansò (2000)	1421-1568
19	Italia	Pesisir Selatan	Massari & D'Alessandro (2000)	Pleistosen
20	Italia	Stromboli	Tanner & Calvari (2004)	5000 BP
21	Jepang	Honshu Tengah	Fujiwara <i>et al.</i> (2000)	Holosen dan 1923
22	Jepang	Honshu Tengah	Shiki & Yamasaki (1996)	Miosen
23	Jepang	Honshu Tengah	Takashimizu & Masuda (2000)	Pleistosen Atas
24	Jepang	Honshu Timur Laut	Minoura & Nakaya (1991)	Holosen
25	Norwegia	?	Bondevik <i>et al.</i> (1997)	7000 BP
26	Selandia Baru	Tengah	Goff <i>et al.</i> (2004a)	Abad XV
27	Selandia Baru	Utara	Nichol <i>et al.</i> (2004)	660-510 BP
28	Selandia Baru	Utara	Regnauld <i>et al.</i> (2004)	5590-930 BP
29	Selandia Baru	Selatan	Goff <i>et al.</i> (2004b)	1826 AD
30	Portugal	Algarve	Andrade (1992)	Holosen
31	Portugal	Algarve	Dawson <i>et al.</i> (1995)	1755
32	Portugal	Algarve	Hindson <i>et al.</i> (1996)	1755
33	Inggris	Ecosse	Dawson & Smith (2000)	1755
34	Inggris	Pulau Seatland	Bondevik <i>et al.</i> (2005)	7600-7200 BP
35	Amerika	Hawai - Lanai	Moore & Moore (1984)	110 ribu tahun
36	Amerika	Hawai - Molokai	Moore <i>et al.</i> (1994)	240-200 ribu tahun
37	Amerika	Hawai - Oahu	Noormets <i>et al.</i> (2002)	1946
38	Amerika	Washington State	Atwater (1987)	Holosen
39	Amerika	Washington State	Shennan <i>et al.</i> (1996)	8 sejak 5000 BP
40	Amerika	Washington State	Williams <i>et al.</i> (2005)	9 sejak 2500 BP

Sumber : Lavigne, F dan Paris, R., 2005

D. Perkembangan Prevensi dan Prediksi Bencana Tsunami di Indonesia

Meskipun beberapa tsunami besar (Tabel 2) yang telah terjadi beberapa kali pada abad ke 19 sebagai contoh 36.000 korban di Krakatau pada tahun 1883 dan 26.000 orang tewas di Honshu pada tahun 1896, kita harus menunggu sampai pertengahan abad ke-20 untuk melihat publikasi ilmiah tentang tsunami yang sebagian besar dilakukan oleh Jepang. Tsunami besar yang terjadi beberapa

tahun terakhir memiliki dampak besar dalam perkembangan penelitian tsunami. Jepang merupakan perintis dalam kegiatan penelitian tsunami baik dalam hal pemodelan, prediksi maupun proteksi daerah kepesisiran terhadap tsunami. Hanya daerah Pasifik yang memiliki jaringan internasional yang baik dalam survey dan pemantauan tsunami.

Tabel 1. Tsunami besar yang terjadi di Indonesia sejak abad ke-19

Tahun	Lokasi	Magnitude	Run-up (m)	Korban
1835	Sumatra	?	?	?
1881	Andaman	?	?	5000 ?
1883	Krakatau	volcan	38	36 000
1965	Buru, Moluques	7,5	4	71
1967	Sulawesi Selatan	5,8		58
1968	Sulawesi Tengah	7,4	10	200
1969	Sulawesi Selatan	6,9		64
1977	Sumba	8	15	189
1992	Flores	7,5	26	1960
1994	Jawa Timur	6,8	14	238
1996	Biak, Papua	8	7	110
2004	Sumatra- Aceh	9	> 30	180000

Sumber : Lavigne, F dan Paris, R., 2005

Tsunami yang terjadi di Hawaii pada tahun 1946 dan di Chili pada tahun 1960 menginspirasi terbentuknya *l'International Tsunami Warning System (ITWS)* dan *International Tsunami Information Center (ITIC)*, yang memiliki tujuan untuk mendeteksi, menentukan lokasi, dan mengukur magnitude tsunami akibat sismik. Pengorganisasiannya didasarkan pada pusat-pusat pemantauan regional (*Tsunami warning centers*) (PWTC, dengan 26 negara anggota) yang aktif. Pusat pemantauan tersebut dibawah pengelolaan *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, Honolulu)* dengan memanfaatkan data sismik *l'U.S. Geological Survey (USGS)*.

Manfaat kerjasama internasional adalah sentralisasi data *real-time* untuk semua stasiun sismik, stasiun pasut dan buie yang mendeteksi tekanan air di kedalaman (DART : *Deep- Ocean Assessment and Re-*

porting on Tsunamis). Penduduk yang tinggal pada jarak 750 km dari episenter juga telah diberi informasi 1 jam sebelum tsunami datang. Sistem peringatan dini seperti *Alaska Tsunami Warning Center (ATWC)*, *French Polynesia Tsunami Warning Center (FPWC, Tahiti)* atau *Tsunami Hazards Reduction Utilizing Systems Technology (THRUST, Valparaiso)*, telah terbentuk untuk menginformasikan ke penduduk 10 sampai 12 menit setelah gempa terutama untuk populasi yang tinggal pada jarak 100 sampai 750 km. Sistem *Ocean Bottom Seismograph (OBS)* di Jepang memungkinkan mendeteksi gempa di laut lepas dengan bantuan 180 seismograf, 103 stasiun pasut (6 diantaranya telemetri) dan stasiun penerima variasi tekanan air pada kedalaman 2200 meter dan 4000 meter. Sistem tersebut dilengkapi dengan beberapa filter pada beberapa frekuensi yang mampu mendeteksi sinyal gelombang

tsunami dan mampu menghilangkan pengaruh gelombang pasang-surut maupun gelombang pengganggu lainnya yang mempengaruhi tekanan air. Data ditransfer setiap 20 detik dengan menggunakan kabel di stasiun permukaan kemudian dibubungkan melalui jaringan telepon di *Tsunami Warning Center* milik *Japan Meteorological Agency* (JMA, Tokyo). Gelombang sismik biasanya disebut sebagai tsunamigenik jika memiliki magnitudo 7 pada skala Richter. Gempa bumi dengan magnitudo 7,5 pada skala Richter dapat memicu tsunami dengan magnitudo beberapa meter. Pencegahan tsunami di dunia didasarkan pada pemodelan spasial numerik bangkitan gelombang tsunami. Melalui 4000 titik sismik potensial di bawah laut, lebih dari 100.000 kasus tsunami telah diprogram. Jika terjadi gempa bumi, simulasi yang mendekati kenyataan dilakukan hanya dalam waktu satu menit tigapuluh detik. Masyarakat yang tinggal pada jarak 100 km atau lebih dari epicenter telah diberi informasi 2 atau 3 menit sebelum tsunami datang.

Tsunami yang terjadi di Flores pada tahun 1992 memainkan peran yang sangat penting terhadap komunitas politik dan keilmuan. Beberapa tsunami yang melanda Indonesia (1992, 1994, 1996, dan 2004), menyimpan beberapa pertanyaan untuk diteliti (seperti : variasi tinggi gelombang, jumlah gelombang, mekanisme gerakan di daratan dan juga masalah sosial politik (pencegahan dan mitigasi) serta permasalahan lingkungan. Sistem jaringan sismograf TREMORS telah dibuat oleh Badan Meteorologi dan Geofisika pada tahun 1996 dan beroperasi selama 24 jam. Berita tentang tsunami 26 Desember 2004 telah diinformasikan segera ke pemerintah local/nasional dan telah diberitakan oleh metro TV lima menit sebelum tsunami terjadi di pesisir Banda Aceh. Akan tetapi, karena sistem peringatan dini dan evakuasi tidak berjalan dengan baik, maka korban yang ditimbulkan sangat banyak.

Indonesia sangat membutuhkan sistem peringatan dini tsunami, akan tetapi terlalu mahal dan kondisi politik dalam hal pencegahan bencana yang belum kondusif. Lebih dari 50 % tsunami yang melanda Indonesia telah mengakibatkan korban jiwa sedangkan di Jepang hanya 15% yang

menimbulkan korban jiwa. Kegiatan penelitian dalam hal pemodelan dan pemetaan resiko bencana serta pengelolaan pesisir di Indonesia masih sangat kurang jika dibandingkan dengan kebutuhan masyarakat di Indonesia.

Tsunami 26 Desember 2004 telah melanda beberapa negara dan beberapa diantaranya berjarak ribuan kilometer dari episenter. Tsunami tersebut merupakan peringkat ketiga yang mematikan diantara tsunami yang telah terjadi selama ini. Indonesia, adalah Negara yang mengalami dampak terbesar akibat tsunami pada bulan Desember tersebut (180.000 jiwa di Sumatra, dengan kerugian lebih dari 2 miliar dollar, lebih dari 300 km pesisir terkena dampaknya). Bencana tersebut merupakan paradok dari sisi pengetahuan dan pencegahan bencana tsunami : perkembangan keilmuan tsunami semakin meningkat, sedangkan kondisi politik pencegahan bencana sebagian besar masih minim dan tidak sama tergantung pada negara masing-masing. Dampak tsunami di pesisir Sumatra, khususnya dampak geomorfologis, kerusakan ekosistem, dan pertanian telah menunjukkan bahwa kerentanan yang terjadi tidak hanya kerentanan sosio-ekonomi saja, akan tetapi juga kerentanan lingkungan.

Dengan adanya bencana besar tsunami di Aceh, respon masyarakat ilmiah sangat besar salah satunya adalah komunitas Perancis-Indonesia melalui program Tsunarisque terutama dalam hal pencegahan dan analisis dampak tsunami terhadap lingkungan. Program tersebut merupakan kerjasama antara Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada, Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), serta beberapa institusi pendidikan di Perancis. Program tersebut dimotori oleh Laboratorium Geografi Fisik, *Centre Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS)* atau Pusat Penelitian Keilmuan Nasional Perancis.

E. Kesimpulan

Bencana tsunami, yang akhir-akhir ini terjadi di beberapa tempat di Indonesia sebenarnya merupakan pengulangan tsunami yang

terjadi pada masa lampau dengan intensitas dan magnitudo yang bervariasi. Tsunami 26 Desember 2004 yang terjadi di Aceh merupakan tsunami terbesar yang telah terjadi di Indonesia dan merupakan peringkat ketiga di dunia. Tingkat kerawanan dan resiko tsunami di Indonesia relatif tinggi hal ini disebabkan oleh populasi dan kepadatan penduduk di wilayah pesisir yang tinggi serta kondisi morfologi pesisir di Indonesia yang di beberapa tempat merupakan dataran. Tsunami besar yang terjadi beberapa tahun terakhir memiliki dampak besar dalam perkembangan penelitian tsunami. Jepang merupakan perintis dalam kegiatan penelitian tsunami baik dalam hal pemodelan, prediksi maupun proteksi daerah kepesisiran terhadap tsunami. Akan tetapi, perkembangan penelitian tsunami di Indonesia sangatlah minim, jika dibandingkan dengan kebutuhan masyarakat di Indonesia. Hal ini merupakan salah satu permasalahan utama mengapa korban yang ditimbulkan oleh bencana Tsunami di Indonesia sedemikian besarnya. Beberapa bencana tsunami yang telah terjadi di Indonesia diharapkan memicu kesadaran pentingnya mitigasi bencana di Indonesia sehingga kerugian dan korban yang ditimbulkan dapat ditekan seminimal mungkin.

F. Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Perancis melalui program DIPT Perancis (*Délégation Interministérielle chargée de l'aide Post-Tsunami*), yang telah membeayai penelitian ini, serta Kedutaan Besar Perancis di Jakarta dan Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada atas fasilitas yang telah diberikan demi kelancaran penelitian ini.

G. Daftar Pustaka

Andrade, C., 1992. Tsunami generated forms in the Algarve barrier island (South Portugal). In: Dawson, A.G. (Ed.), European Geophysical Union 1992 Tsunami Meeting. *Science of*

Tsunami Hazard 10 (1), 21-34.

- Atwater, B.F., 1987. Evidence for great Holocene earthquakes along outer coast of Washington State. *Science* 236, 942-944.
- Bondevik, S., Svendsen, J.I., Mangerud, J., 1997. Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegga tsunami in shallow marine basins and coastal lakes, western Norway. *Sedimentology* 44, 1115-1131.
- Bondevik, S., Svendsen, J.I., Mangerud, J., 1997. Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegga tsunami in shallow marine basins and coastal lakes, western Norway. *Sedimentology* 44, 1115-1131.
- Bondevik, S., Svendsen, J.I., Mangerud, J., 1997. Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegga tsunami in shallow marine basins and coastal lakes, western Norway. *Sedimentology* 44, 1115-1131.
- Bourgeois, J., Reinhart, M.A., 1993. Tsunami deposits from 1992 Nicaragua event: implications of Paleo-tsunami deposits, Cascadia Subduction Zone. EOS, Fall Meeting of the American Geophysical Union, Washington DC, 350.
- Bourrouilh - Le Jan, F.G., Talandier, J., 1985. Major high-energy events in a reef environment: tsunamis, hurricanes and tropical cyclones and their effects on the sedimentology and geomorphology of an atoll: Rangiroa, Tuamotu (SE Pacific). *Marine Geology* 37 (3-4), 263-272.
- BPDP-BPPT, 2003. Second year technical report- Research on tsunami hazard and its effect on Indonesian coastal region. Unpublished report for JICA, Agency for the Assessment and Application of Technology- Coastal Dynamic Research Center, Yogyakarta, Indonesia, 32 p.
- Bryant, E.A., Nott, J., 2001. Geological indicators of large tsunamis in Australia. *Natural Hazards* 24 (3), 231-249.
- Bryant, E.A., Young, R.W. & Price, D.M., 1996. Tsunami as a major control on coastal evolution, Southeastern Australia.

- lia. *Journal of Coastal Research* 12, 831-840.
- Cantalamesa, G., Di Celma, C., 2005. Sedimentary features of tsunami backwash deposits in a shallow marine Miocene setting, Mejillones Peninsula, northern Chile. *Sedimentary Geology* 178, 259-273.
- Cisternas, M., Atwater, B.F., Torrejon, F., Sawai, Y., Machuca, G., Lagos, M., Eipert, A., Youlton, C., Salgado, I., Kamataki, T., Shishikura, M., Rajendran, P.R., Malik, J.K., Rizal, Y., Husni, M., 2005. Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature* 437, 404-407.
- Clague, J.J., Bobrowsky, P.T., Hutchinson, I., 2000. A review of geological records of large tsunamis at Vancouver Island, British Columbia, and implications for hazard. *Quaternary Science Reviews* 19, 849-863.
- Dawson, A.G., 1994. Geomorphological effects of tsunami run-up and backwash. *Geomorphology* 10, 83-94.
- Dawson, A.G., Hindson, R., Andrade, C., Freitas C., Parish, R., Bateman, M., 1995. Tsunami sedimentation associated with the Lisbon earthquake of 1 November 1755: Boca do Rio, Algarve, Portugal. *The Holocene* 5 (2), 209-215.
- Felton, E.A. & Crook, K.A.W., 2003. Evaluating the impact of huge waves on rocky shorelines: an essay review of the book 'Tsunami - The Underrated Hazard'. *Marine Geology* 197, 1-12.
- Fujiwara, O., Masuda, F., Sakai, T., Irizuki, T. & Fuse, K., 2000. Tsunami deposits in Holocene bay mud in southern Kanto region, Pacific coast of central Japan. *Sedimentary Geology* 135, 219-230.
- Gelfenbaum, G., Jaffe, B., 2003. Erosion and sedimentation from the 17 July, 1998 Papua New Guinea tsunami. *Pure and Applied Geophysics* 160, 1969-1999.
- Gelfenbaum, G., Jaffe, B., 2003. Erosion and sedimentation from the 17 July, 1998 Papua New Guinea tsunami. *Pure and Applied Geophysics* 160, 1969-1999.
- Goff, J.R., Chagué-Goff, C. & Nichol, S.L., 2001. Palaeotsunami deposits: a New Zealand perspective. *Sedimentary Geology* 143, 1-6.
- Goff, J.R., Wells, A., Chagué-Goff, C., Nichol, S.L. & Devoy, R.J.N., 2004b. The elusive AD 1826 tsunami, South Westland, New Zealand. *New Zealand Geographer* 60 (2) 28-39.
- Harmelin-Vivien, M.L., Laboute, P., 1986. Catastrophic impact of atoll outer reef slopes in the Tuamotu (French Polynesia). *Coral Reefs* 5, 55-62.
- Hearty, P., 1997. Boulder deposits from large waves during the last interglaciation on north Eleuthera Island, Bahamas. *Quaternary Research* 48, 326-338.
- Hindson, R.A., Andrade, C., Dawson, A.G., 1996. Sedimentary processes associated with the tsunami generated by the 1755 Lisbon earthquake on the Algarve coast, Portugal. *Physics and Chemistry of the Earth* 21 (12), 57-63.
- Iida, K., 1956. Earthquakes accompanied by tsunamis occurring under the sea off the islands of Japan. *Journal of Earth Sciences, Nagoya University*, 4, 1-43.
- Imamura, A., 1942. History of Japanese tsunamis. *Kayo-No-Kagaku (Oceanography)* 2, 74-80.
- Jaffe, B., Gelfenbaum, G., Rubin, D., Peters, R., Anima, R., Swensson, M., Olcese, D. Bernales L., Gomez, J., and Riega, P., 2003. Identification and interpretation of tsunami deposits from the June 23, 2001 Peru tsunami. Proceedings of the International Conference on Coastal Sediments 2003, World Scientific Publishing Corp and East Meets West Productions, Corpus Christi, TX, USA. ISBN 981-238-422-7, 13 p.
- Kelletat, D., Scheffers, A. & Scheffers, S., 2004. Holocene tsunami deposits on the Bahaman Islands of Long Island and Eleuthera. *Zeitschrift für Geomorphologie* 48 (4), 519-540.
- Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C.J., Nettles, M., Ward, S.N., Aster, R.C., Beck, S.L., Bilek, S.L., Brudzinski,

- M.R., Butler, R., DeShon, H.R., Ekström, G., Sakate K., Sipkin, S., 2005. The great Sumatra-Andaman earthquake of 26 December 2004. *Science*, 308, 1127-1133.
- Lavigne, F., and Paris, R., 2005, Le tsunami du 26 décembre 2004 en Indonésie : rapport scientifique, Centre Nationale de la Recherche Scientifique, France.
- Le Roux, J.P., Gómez, C., Fenner, J., Middleton, H., 2004. Sedimentological processes in a scarp-controlled rocky shoreline to upper continental slope environment, as revealed by unusual sedimentary features in the Neogene Coquimbo Formation, north-central Chile. *Sedimentary Geology* 165, 67-92.
- Massari, F., D'Alessandro, A., 2000. Tsunami-related scour-and-drape undulation in Middle Pliocene restricted-bay carbonate deposits (Salento, south Italy). *Sedimentary Geology* 135, 265-281.
- Mastronuzzi, G. & Sansò, P., 2000. Boulders transport by catastrophic waves along the Ionian coast of Apulia (southern Italy). *Marine Geology* 170, 93-103.
- McSaveney, M., Goff, J., Darby, D., Goldsmith, P., Barnett, A., Elliott, S., Nongkas, M., 2000. The 17th July 1998 tsunami, Sissano Lagoon, Papua New Guinea - evidence and initial interpretation. *Marine Geology* 170, 81-92.
- Minoura, K., Imamura, F., Takahashi, T., Shuto, N., 1997. Sequence of sedimentation processes caused by the 1992 Flores tsunami: Evidence from Babi Island. *Geology* 25 (6), 523-526.
- Minoura, K., Nakaya, S., 1991. Traces of tsunami deposits preserved in intertidal lacustrine and marsh deposits: some examples from Northeast Japan. *Journal of Geology* 99, 265-287.
- Moore, J.G., Bryan, W.B. & Ludwig K.R., 1994. Chaotic deposition by a giant wave, Molokai, Hawaii. *Geological Society of America Bulletin* 106, 962-967.
- Nishimura, Y., Miyaji, N., 1995. Tsunami deposits from the 1993 southwest Hokkaido earthquake and the 1640 Hokkaido Komagatake eruption, Northern Japan. *Pure and Applied Geophysics* 144, 719-733.
- Noormets, R., Felton, E.A., Crook, K.A.W., 2002. Sedimentology of rocky shorelines: 2 - Shoreline megaclasts on the north shore of Oahu, Hawaii - origins and history. *Sedimentary Geology* 150, 31-45.
- Nott, J., 1997. Extremely high wave deposits inside the Great Barrier Reef, Australia: determining the cause-tsunami or tropical cyclone. *Marine Geology* 141, 193-207.
- Okal, E.A., Dengler, L., Araya, S., Borrero, J.C., Gomer, B., Koshimura, S., Laos, G., Olsece, D., Ortiz, M., Swensson, M., Titov, V.V., Vegas, F., 2002. A field survey of the Camaná, Peru tsunami of June 23, 2001. *Seismol. Res. Lettes* 73, 904-917.
- O'Loughlin, K.F., Lander, J.F., 2003. Caribbean Tsunamis: A 500-year History from 1498-1998. *Advances in Natural and Technological Hazards Research* 20, Kluwer Academic Publishers, 263p.
- Pérez Torrado, F.J., Paris, R., Cabrera, M.C., Carracedo, J.C., Schneider, J.L., Wassmer, P., Guillou, H. & Gimeno D., 2002. Depósitos de tsunami en el valle de Agaete, Gran Canaria (Islas Canarias). *Geogaceta* 32, 75-78.
- Regnaud, H., Nichol, S.L., Goff, J.R., Fontugne M., 2004. Maoris, middens and dune front accretion rate on the northeast coast of New Zealand: resilience of sedimentary system after a 263p.
- Pérez Torrado, F.J., Paris, R., Cabrera, M.C., Carracedo, J.C., Schneider, J.L., Wassmer, P., Guillou, H. & Gimeno D., 2002. Depósitos de tsunami en el valle de Agaete, Gran Canaria (Islas Canarias). *Geogaceta* 32, 75-78.
- Regnaud, H., Nichol, S.L., Goff, J.R., Fontugne M., 2004. Maoris, middens and dune front accretion rate on the northeast coast of New Zealand: resilience of sedimentary system after a tsunami.

Géomorphologie 1 (2004), 45-54.

- Satake, K., Bourgeois, J., Abe, Ka., Abe, Ku., Tsuji, Y., Imamura, F., Iio, Y., Katar, H., Noguera, E., Estrada, F., 1993. Tsunami field survey of the 1992 Nicaragua earthquake. *Eos Trans. Amer. Geophys. Un.* 74, 145 and 156-157.
- Sato, H., Shimamoto, T., Tsutsumi, A., Kawamoto, E., 1995. Onshore tsunami deposits caused by the 1993 Southwest Hokkaido and 1983 Japan Sea earthquakes. *Pure and Applied Geophysics* 144, 693-717.
- Scheffers, A., Kelletat, D., 2003. Sedimentologic and geomorphologic tsunami imprints worldwide – a review. *Earth-Science Reviews* 63, 83-92.
- Shennan, I., Long, A.J., Rutherford, M.M., Green, F.M., Innes, J.B., Lloyd, J.M., Zong, Y., Walker, K.J., 1996. Tidal marsh stratigraphy, sea-level change and large earthquakes, I: a 5000 years record in Washington, U.S.A. *Quaternary Science Reviews* 15, 1023-1059.
- Shi, S., Dawson, A.G., Smith, D.E., 1995. Coastal sedimentation associated with the December 12th, 1992 tsunami in Flores, Indonesia. *Pure and Applied Geophysics* 144, 525-536.
- Shiki, T., Yamazaki, T. (1996): Tsunami-induced conglomerates in Miocene upper bathyal deposits, Chita Peninsula, central Japan. *Sedimentary Geology* 104, 175-188.
- Synolakis, C.E., Okal, E.A., 2005. 1992-2002: Perspective on a decade of post-tsunami surveys. In: K. Satake (ed.), *Tsunamis: case studies and recent developments*, Springer, 43-56.
- Takashimizu, Y., Masuda, F., 2000. Depositional facies and sedimentary successions of earthquake-induced tsunami deposits in Upper Pleistocene incised valley-fills, central Japan. *Sedimentary Geology* 135, 231-239.
- Tanner, L.H., Calvari, S., 2004. Unusual sedimentary deposits on the SE side of Stromboli volcano, Italy: products of a tsunami caused by the ca. 5000 BP Sciara del Fuoco collapse *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 137, 329-340.
- Whelan, F., Kelletat, D., 2005. Boulder deposits on the southern Spanish Atlantic coast: possible evidence for the 1755 AD Lisbon tsunami? *Science of Tsunami Hazards* 23 (3), 25-38.
- Williams, H.F.L., Hutchinson, I., Nelson, A.R., 2005. Multiple sources for late-Holocene tsunamis at Discovery Bay, Washington State, USA. *The Holocene* 15 (1), 60-73.
- Website tsunarisque Indonesia : <http://www.tsunarisque.cnrs.fr>

**BANJIR GENANGAN DI KAWASAN PESISIR
AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR LAUT
(Flood inundation in a coastal area due to sea level rise)**

Mah Aris Marfa^{1,2}, Junun Sartohadi^{1,2}, Sudrajat¹, Sri Rahayu Budiani¹, Fajar Yulianto³

¹Fakultas Geografi UGM Yogyakarta, ²Pusat Studi Bencana UGM, ³Lembaga Penerbangan dan Antariksa Negara (LAPAN)

Abstract

Global climate change give impact to the change of sea level. A rise in sea level would inundate wetlands and lowlands, accelerate coastal erosion, exacerbate coastal, and and increase the salinity of rivers and aquifers. Based on the prediction and report from IPCC (2001) the most suffering area due to sea level rise are the region and countries with direct contact to the sea and ocean such as coastal area of Mediteranian, Pasific, West Africa, South Asia, and even South East Asia including Indonesia. This paper intends to study model of the flood inundation in part of Semarang coastal area due to sea level rise and evaluate the impact of the inundation to the land use.

Inundation model has been created using digital elevation model in raster format using Geographic Information System. The impact of the inundation to the land use has been evaluated using overlay analysis and spatial analysis. The results shows that the sea water inundate on the road, fishpond, residential and bare land with 299.500 m², 1.965.800 m², 750 m² and 2.387.675 m², respectifely.

Keywords: Flood inundation, Iteration, digital elevation model, and landuse.

A. Pendahuluan

Kawasan pesisir merupakan kawasan yang berinteraksi dengan dua lingkungan fisik yang berbeda, yaitu lingkungan lautan dan daratan. Berbagai proses yang terjadi di lautan dan daratan memberikan pengaruh terhadap karakteristik fisik dan lingkungan kawasan pesisir. Berbagai karakteristik tersebut antara lain, *pertama:* kawasan pesisir merupakan kawasan yang sangat dinamis dan merupakan kawasan yang selalu mengalami perubahan fisik yang diakibatkan oleh angin dan gelombang, *kedua:* kawasan pesisir merupakan kawasan ekosistem yang sangat bernilai tinggi dengan produktivitas yang besar dan biodeversitasnya yang tinggi, *ketiga:* kawasan pesisir mempunyai bentuk terumbu karang, hutan mangrove, pantai, gumuk pasir dan berbagai bentuk alami lainnya yang mempunyai daya tangkal terhadap banjir, gelombang badai dan tsunami, *keempat:* kawasan pesisir merupakan kawasan yang bernilai tinggi bagi kehidupan manusia, karena adanya aktivitas perekonomian dan permukiman, *kelima:* kawasan pesisir meru-

upakan pusat kegiatan yang berkaitan dengan seluruh aktivitas manusia di lautan, *keenam:* kawasan pesisir memiliki sumberdaya yang beragam dan bernilai tinggi yang tidak jarang menimbulkan konflik kepentingan dari berbagai sektor. (Marfa, 2005-³).

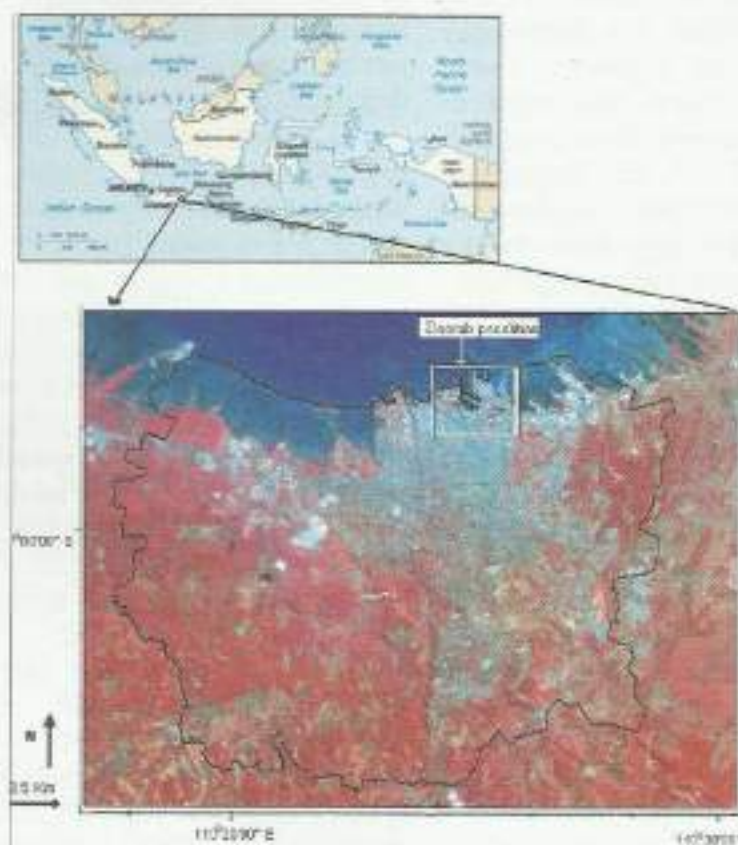
Kawasan pesisir memiliki potensi bahaya alam yang tinggi. Berbagai proses fisik yang dapat menimbulkan bahaya alam di daerah pesisir antara lain erosi, abrasi, long-sor cliff, tsunami, land subsidence, penutupan muara sungai dan banjir, serta dampak kenaikan muka air laut akibat efek pemanasan global. Berdasarkan skenario global terburuk yang diprediksikan para ahli di dunia, diperkirakan akan terjadi kenaikan muka air laut setinggi 1 meter pada tahun 2100 secara umum. Namun demikian akan terdapat beberapa perbedaan secara lokal, disebabkan adanya dinamika pasang surut, angin, pola tekanan atmosfer, pergantian sirkulasi lautan, pergerakan kontinen dan lain sebagainya. Berdasarkan penelitian (Warrick 1996 dalam Gomme dan Guerny 1998) diperoleh angka yang paling dominan di beberapa kawasan akan berkisar 38-55 cm. Fenomena ini akan terjadi apabila kenaikan suhu bumi semakin

meningkat karena efek pemanasan global. Suhu bumi yang semakin panas berakibat pada mencairnya sebagian es di kutub sehingga permukaan air laut naik. Hal ini akan berdampak pada terjadinya banjir genangan di berbagai daerah pesisir. Sementara itu menurut *Inter-Governmental Panel of Climate Change's* (IPCC, 2001) diperkirakan temperatur global akan naik sebesar $2,4^{\circ}\text{C}$ pada Tahun 2100 dimana hal tersebut akan memberikan dampak kenaikan muka air laut sebesar 20 cm hingga 86 cm. Menurut IPCC akan diperoleh prediksi umum (mayoritas) sebesar 49 cm.

Negara-negara yang berbatasan langsung dengan lautan akan terkena dampak yang paling dasyat, seperti di kawasan pantai Mediterania, Pantai pasifik, pantai barat Afrika, Asia Selatan dan Asia Tenggara termasuk kawasan pantai di Indonesia. Terlebih untuk negara-negara kepulauan dan dikelilingi garis pantai seperti Indonesia, fenomena ini tentu akan sangat mengkuatirkan. Hasil analisis dari modeling menggunakan data *digital elevation model* (DEM) dengan skenario kenaikan muka air laut setinggi 1 meter, untuk daerah Jawa diperkirakan lebih

dari 1 juta orang akan terkena dampaknya. Sementara secara keseluruhan di wilayah Indonesia akan kehilangan 3,4 juta hektar kawasan pertanian dan lebih dari 2 juta penduduk terkena dampaknya. (Marfai, 2002).

Berbagai penelitian berkaitan dengan kenaikan muka air laut dan dampaknya, telah banyak dilakukan, antara lain oleh: Yim, W, W, -S, *et al* (1995), Chen, X., *et al* (1999), Mastin, Mark C, *et al*, (2002), Zhenguang Huang, *et al* (2003), dan Marfai (2003). Sementara itu tulisan ini bertujuan untuk mengulas model genangan di kawasan pesisir akibat kenaikan muka air laut dan mengidentifikasi dampaknya terhadap penggunaan lahan kawasan pesisir di sebagian kawasan Semarang. Secara lebih jelas daerah penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Daerah Penelitian

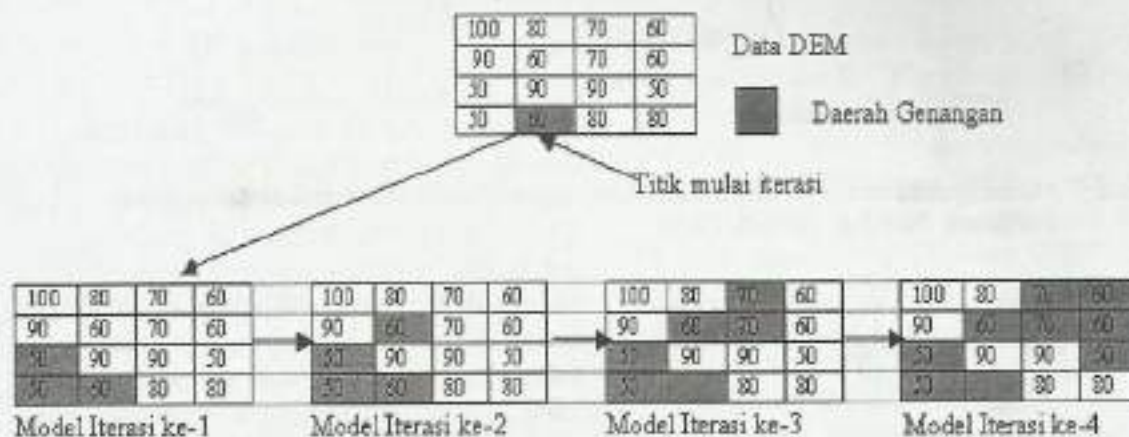
B. Model Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut

Model genangan dapat dibuat berdasarkan skenario terburuk kenaikan muka air laut sebesar 1 meter. Model dapat dilakukan dengan data digital dalam format raster. Format raster adalah format penyimpanan file dalam bentuk koordinat dan area. Salah satu metode pembuatan model digital dengan menggunakan data berbasis raster adalah perhitungan iterasi. Iterasi adalah perhitungan piksel secara matematik yang berulang-ulang dengan kondisi dan rumus perhitungan tertentu. Hasil perhitungan dalam satu piksel akan digunakan sebagai masukan dalam perhitungan piksel

berikutnya. Bila kondisi yang disyaratkan telah dipenuhi perhitungan akan berhenti secara otomatis.

Pembuatan model ini dapat dilakukan dengan berbagai software Geographic Information system (GIS). Salah satunya adalah ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*). ILWIS merupakan salah satu software GIS, yang dikeluarkan oleh ITC (*Institit for Geo-Information Science and Earth Observation*), Enschede Belanda. (ILWIS, 2001).

Perhitungan berulang dalam format raster secara sederhana dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model perhitungan iterasi dalam format raster. Perhitungan iterasi untuk daerah kajian dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma sebagai berikut

$$Flood-1-meter = MapIterProp(awal.mpr, iff(dem > 1, awal2, nbmax(awal2\#))) \dots \dots \dots (1)$$

Rumus (1) dapat dijelaskan sebagai berikut: pembuatan peta baru dengan nama "flood-1-meter" dengan operasi iterasi "MapIterProp" dengan posisi awal perhitungan dari lokasi piksel pada peta "awal" dan dioperasikan pada peta "dem" pada nilai piksel sampai dengan ketinggian 1 meter.

Sebagai suatu contoh aplikasi, algoritma pada Rumus 1 dapat diaplikasikan pada data digital elevation model sebagian

daerah pesisir Semarang. Hasil perhitungan iterasi adalah model genangan akibat kenaikan muka air laut pada ketinggian 1 meter, seperti yang disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Model spasial banjir pasang air laut ketinggian 1 meter sebagian kawasan pesisir Semarang (Sumber: Marfai, 2004)

C. Dampak Genangan Terhadap Penggunaan Lahan di Kawasan Pesisir

Model spasial banjir genangan setinggi 1 meter pada sebagian pesisir Semarang yang telah diperoleh, dapat dianalisis lebih lanjut dengan menumpangsusunkan model spasial banjir genangan dengan data penggunaan lahan. Di Kota Semarang, banjir genangan merupakan bencana alam yang sering terjadi hampir disebagian besar kawasan pesisir. Berbagai faktor yang mempengaruhi meningkatnya banjir genangan di kawasan pesisir Semarang antara lain meningkatnya permukiman, adanya *land subsidence* sebagai akibat eksploitasi air tanah yang berlebihan dan adanya fenomena global kenaikan muka air laut (*sea level rise*). Fenomena banjir genangan air laut di Semarang dikenal dengan nama banjir rob. Banjir rob disebabkan karena kenaikan muka air laut yang tidak wajar sebagai akibat dari fenomena alam, seperti tsunami, gelombang

badai, dan diperparah dengan fenomena global *sea level rise*. Fenomena lain yang tidak kalah pentingnya di daerah Semarang yang mengakibatkan meningkatnya banjir genangan adalah adanya penurunan muka tanah/*subsidence*. Fenomena *land subsidence* ini secara prinsipal disebabkan karena eksploitasi air tanah yang berlebihan. Eksploitasi air tanah dibutuhkan karena perkembangan industri yang semakin besar sebagai tuntutan urbanisasi.

Untuk mengetahui luas genangan pada setiap penggunaan lahan dapat dilakukan analisis tabel silang dalam oprasi *map overlay* atau tumpangsusun peta. Berdasarkan analisis tabel silang dari model spasial banjir genangan dengan data spasial penggunaan lahan di sebagian kawasan Semarang dapat diketahui berbagai daerah genangan banjir dan luasannya untuk setiap penggunaan lahan. Dampak genangan banjir tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dampak Genangan Terhadap Penggunaan Lahan Pada Sebagian Kawasan Pesisir Semarang

Dampak Genangan 1 meter	Luas (m ²)
Jalan Tergenang	299500
Lahan Kosong Tergenang	2387675
Bangunan Tergenang	750
Tambak Tergenang	1965800
Tubuh air Tergenang	6251275
Jalan Tidak Tergenang	669175
Lahan Kosong Tidak Tergenang	3658850
Bangunan Tidak Tergenang	3078425
Tambak Tidak Tergenang	217150
Tubuh air Tidak Tergenang	164925

Sumber : Operasi tabel dalam software ILWIS,(Marfai, dkk 2005-b)

D. Kesimpulan

Kenaikan air laut akibat pemanasan global memberikan dampak terhadap adanya banjir genangan di kawasan pesisir. Dengan menggunakan data *digital elevation model*, software GIS, peta penggunaan lahan dan data kenaikan muka air laut dapat dilakukan model dan analisis dampak genangan terhadap penggunaan lahan. Berdasarkan analisis dampak genangan terhadap penggunaan lahan di daerah penelitian dapat diketahui luas genangan pada jalan sebesar 299.500 m², terhadap lahan kosong sebesar 2.387.675 m², terhadap bangunan sebesar 750 m² dan terhadap daerah tambak sebesar 1.965.800 m².

E. Referensi

- Chen, X and Zong, Y.,1999. *Major impact of sea level rise on agriculture in the Yangtze delta area around Shanghai*, *Applied Geography* 19, 69-84.
- Gommes, R and Duc Guerny, J. 1998. *Potential impacts of sea level rise on populations and agriculture*. Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO).
- Ilwis user's guide*, 2001. *Ilwis 3.0 Academic users guide*, ITC, The Netherlands
- IPCC, 2001. *Climate change 2001, The scientific basis*, Cambridge University Press, Cambridge
- Marfai, M.A., 2002. Indeks Vulnerabiliti dan Dampak Kenaikan Muka Air Laut. *Prosiding seminar pengelolaan kawasan pesisir*. 16 Oktober 2002. ISBN 979-8786-21-1. BPPT dan Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.
- Marfai, M.A., 2003. GIS modelling of river and tidal flood hazards in a waterfront city, case study: Semarang City, Central Java, Indonesia, *M.Sc thesis*, ITC Enschede, The Netherlands
- Marfai, M.A., 2004. Pemodelan Spasial Bahaya Banjir Laut di Pesisir Timur Semarang, *Jurnal forum geografi*. Vol 18, No 1, July 2004. ISSN 0852-2682. Hal 60-69. Fakultas Geografi UMS Surakarta.
- Marfai, M.A., 2005-a. *Moralitas lingkungan, refleksi kritis atas krisis lingkungan berkelanjutan*, Penerbit Kreasi Wacana, Yogyakarta.
- Marfai, M.A., Junun Sartohadi, Sudrajat, dan Sri Rahayu Budiani., 2005-b. Analisis Resiko Banjir Pasang Air Laut Menggunakan Iteration Model dan Teknologi Sistem Informasi Geografis. *Laporan penelitian hibah bersaing XIII/1 perguruan tinggi*. Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.

- Mastin, Mark C., and Olsen, Theresa D., 2002. *Fifty-year storm-tide flood-inundation maps for Santa de Aqua, Honduras*, US Geological Survey, Tacoma, Washington, USA.
- Yim, W.W.-S., 1995. Implications of sea-level rise for Victoria Harour, Hong Kong, *Journal of coastal research*, special issue 14. 167-189.
- Zhenguo Huang, Yongqiong Zong, and Weiqiang Zhang, 2003. Coastal Inundation due to Sea Level Rise in The Pearl River Delta, China. *Journal of natural hazard 00:1-18*, 2003. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands.

**RISIKO TSUNAMI DI PANTAI SELATAN JAWA
Belajar dari Kejadian Tsunami di Banyuwangi pada Tahun 1994
dan di Pangandaran pada Tahun 2006**

Djati Mardiatno¹

¹ Fakultas Geografi UGM

Abstract

The southern coast of java is very vulnerable to tsunami because it's close to subduction's zone in hindia ocean. Subduction zone is a zone which have a dynamic movement and generally earthquakes are often occured with variety scale in this location. Earthquake is one of thing which caused tsunami, so the southern coast of java have a high potentially to tsunami occured. Generally, on coast area have a high population so this area have a high risk to tsunami. In 1994, tsunami occured at Rajegwesi, Banyuwangi, and surrounded. In this case, there are 200 people's are died and many fisherman houses and boats are destroyed. The high of tsunami run-up more than 12 metres and more than 500 metres far from coastline. Tsunami effect pull off in west banyuwangi to pacitan coast area.

The most actually of tsunami happened at july 17th 2006 which detroying almost a part of southern coast of java and caused more tahn 600 peoples died. The high of tsunami run-up reach more than 5 metres and affects to land more than 500 metres far from coastline. Tsunami affect to land causes many damage in many variety for each location.

Risk analyse of tsunami on southern coast of java can be used to determine and arranges of coast area include mitigations program to minimalize risk of tsunami.

Keyword : risk of tsunami, disaster, mitigation

A. Pendahuluan

Tsunami adalah istilah dalam bahasa Jepang, *tsu* dan *nami* yang pada dasarnya menyatakan suatu gelombang laut yang terjadi akibat gempa bumi tektonik di dasar laut. Tsunami adalah rangkaian gelombang laut yang mampu menjalar dengan kecepatan hingga 900 km per jam, terutama diakibatkan oleh gempa bumi yang terjadi di dasar laut. Selain gempa bumi, tsunami juga dapat diakibatkan oleh erupsi gunungapi, longsor, dan jatuhnya meteor di lautan,

Tsunami yang terjadi di Indonesia memiliki magnitudo berkisar antara 1,5-4,5 skala Imamura, dengan tinggi gelombang tsunami maksimum yang mencapai pantai berkisar antara 4 - 24 meter, dan jangkauan gelombang ke daratan berkisar antara 50 sampai 200 meter dari garis pantai. Berdasarkan Katalog Gempa (1629 - 2002), di Indonesia pernah terjadi tsunami sebanyak 109 kali, yakni 1 kali akibat longsor (*landslide*), 9 kali akibat gunung

berapi dan 98 kali akibat gempabumi tektonik (<http://www.bmg.go.id>).

Kejadian tsunami yang paling sering adalah akibat gempa yang terjadi di dasar laut. Tsunami akan terjadi jika kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km, magnitudo gempa lebih besar dari 6,0 skala Richter, serta jenis pensesaran gempa tergolong sesar naik atau sesar turun. Tabel 1. menunjukkan beberapa kejadian tsunami yang signifikan di Indonesia

Tabel 1. Kejadian Tsunami yang Signifikan di Indonesia

No.	Tahun	Tempat	Magnituda	Korban
1.	1883	G.Krakatau	-	36.000
2.	1833	Sumbar, Bengkulu, Lampung	8,8	Tak tercatat
3.	1938	Kep. Kai - Banda	8,5	Tak tercatat
4.	1967	Tinambung	-	58
5.	1968	Tambu, Sulteng	6	200
6.	1977	Sumbawa	6,1	161
7.	1992	Flores	6,8	2.080
8.	1994	Banyuwangi	7,2	377
9.	1996	Toli - toli	7	9
10.	1996	Blak	8,2	166
11.	2000	Banggai	7,3	50
12.	2004	Nanggroe Aceh Darussalam	9	250.000
13.	2006	Pangandaran	7,2	>600

Sumber: VSI (2006), dengan tambahan kejadian no.13

Kejadian tsunami di pantai selatan Jawa relatif tidak terlalu banyak dibandingkan dengan di daerah lain di Indonesia. Meskipun pantai selatan Jawa sering dinyatakan sebagai kawasan yang rawan tsunami, namun sangat sedikit pihak-pihak terkait yang mengkaji secara intensif kemungkinan bencana tsunami di kawasan tersebut. Kejadian tsunami di Rajegwesi, Banyuwangi, pada tahun 1994 dan terakhir, tsunami pada tanggal 17 Juli 2006 yang melanda daerah Pangandaran dan sekitarnya hingga pantai selatan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), menarik perhatian semua pihak untuk mengkaji lebih lanjut tentang risiko tsunami di kawasan pantai selatan Jawa. Hal ini juga didukung oleh kenyataan bahwa Pulau Jawa merupakan pulau yang terpadat penduduknya di Indonesia, sehingga sangat beralasan jika kawasan rawan tsunami di pantai selatan Jawa perlu dianalisis tingkat risikonya.

B. Bentanglahan Pantai Selatan Jawa

Pantai selatan Jawa yang berhadapan langsung dengan zona subduksi di dasar Samudera Hindia memang sangat rawan

terhadap tsunami. Zona subduksi merupakan zona dinamik dan pada umumnya gempa bumi dalam berbagai skala sering terjadi pada zona tersebut. Gempa bumi adalah salah satu penyebab terjadinya tsunami, sehingga potensi terjadinya tsunami yang akan melanda pantai selatan Jawa relatif cukup tinggi.

Morfologi pantai selatan Jawa bervariasi, ada tebing curam (*cliff*), pantai bergisik (*beach*), kompleks, dan juga ada yang berupa rawa/rataan pasangsurut (*swamp/tidal flat*). Secara umum, pantai bergisik dengan material pasir mendominasi kawasan ini. Pada beberapa tempat, dapat ditemukan kompleks betinggisik-swale tua, yang mengindikasikan bahwa kawasan itu dulunya berupa pantai dan kerja gelombang pernah mencapai kawasan tersebut.

Kawasan pantai selatan Jawa juga memiliki daya tarik tersendiri ditinjau dari kacamata pariwisata. Banyak lokasi wisata pantai yang menarik di kawasan ini, antara lain Pantai Pelabuhan Ratu dan Pangandaran di Jawa Barat; Pantai Teluk Penyus, Ayah, Karangbolong, dan Petanahan di Jawa

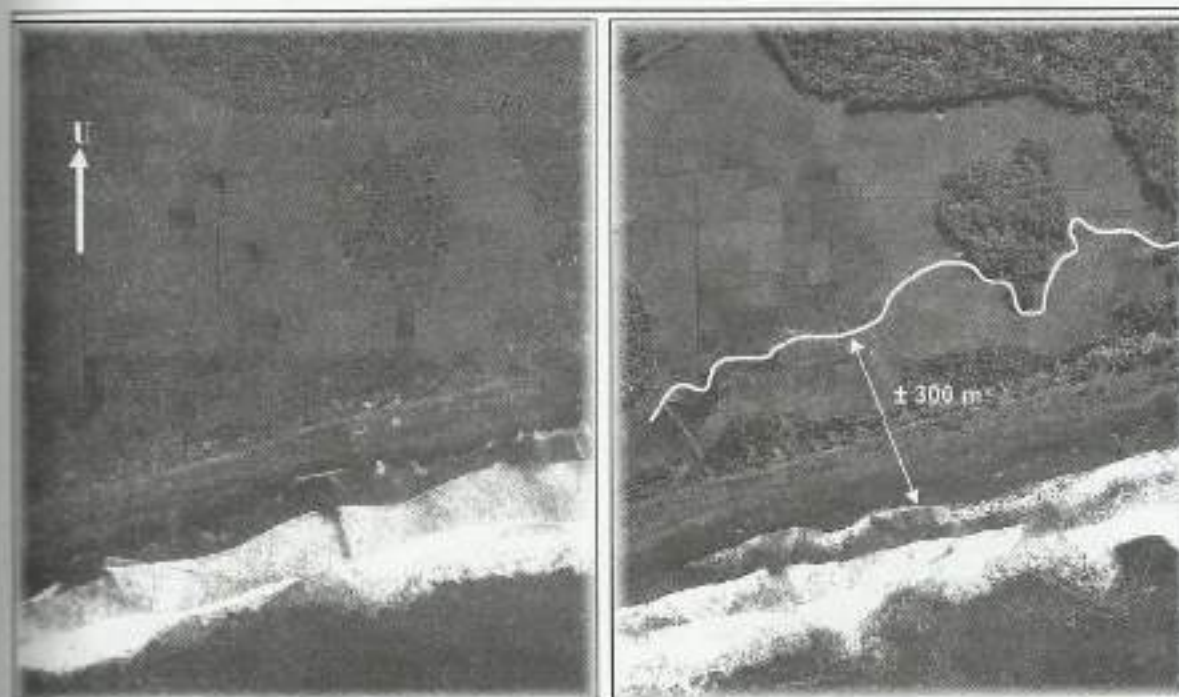
Tengah; Pantai Glagah, Parangtritis, dan Baron di DIY, serta Pantai Teleng Ria, Popoh, dan Puger di Jawa Timur. Banyaknya lokasi wisata tersebut secara tidak langsung mengakibatkan konsentrasi penduduk juga akan berada di sekitar kawasan pantai. Selain itu, kawasan tersebut pada umumnya merupakan perkampungan nelayan yang cukup padat. Besarnya jumlah penduduk yang beraktivitas di kawasan pantai tersebut menyebabkan kawasan tersebut memiliki risiko tinggi jika tsunami terjadi.

C. Tsunami Banyuwangi 1994 dan Pangandaran 2006

Pada tahun 1994, tsunami yang melanda daerah Rajegwesi, Banyuwangi dan sekitarnya, memakan korban jiwa lebih dari 200 orang. Gelombang tsunami saat itu juga menimbulkan kerugian yang cukup besar, karena banyak rumah nelayan dan perahu

yang hancur atau rusak. Ketinggian *run-up* tercatat mencapai 12 meter dan gelombang masuk ke darat hingga 500 meter dari garis pantai. Pengaruh gelombang tsunami tersebut mencapai kawasan pantai yang terletak di barat Banyuwangi hingga Pacitan.

Tsunami paling aktual di Jawa terjadi pada tanggal 17 Juli 2006, menghancurkan sebagian kawasan pantai selatan Jawa Barat, Jawa Tengah, dan DIY serta memakan korban jiwa lebih dari 600 orang. Ketinggian *run-up* di berbagai lokasi bervariasi, bahkan ada yang lebih dari 5 meter. Pengaruh gelombang ke darat juga bervariasi, ada yang mencapai lebih dari 500 meter dari garis pantai. Jauhnya pengaruh gelombang tsunami yang masuk ke daratan menyebabkan kerusakan yang ditimbulkan juga bervariasi untuk setiap lokasi. Gambar 1 menunjukkan keadaan kawasan Batu Hiu sebelum dan setelah kejadian tsunami, serta jarak pengaruh gelombang tsunami ke darat.



Gambar 1. Citra IKONOS Kawasan Batu Hiu (Barat kawasan Pangandaran)
Kiri: kenampakan sebelum tsunami (24-1-2006) ; Kanan: kenampakan setelah tsunami (19-7-2006) Garis putih menunjukkan jarak pengaruh gelombang ke darat

D. Risiko Tsunami Di Kawasan Pantai Selatan Jawa

Pengalaman kejadian tsunami yang melanda pantai selatan Jawa tahun 1994 dan terakhir tahun 1996 mengisyaratkan perlunya analisis risiko tsunami dalam perencanaan kawasan tersebut. Dengan mengetahui risiko tsunami di kawasan tersebut, diharapkan kerugian yang timbul akibat bencana tsunami dapat diminimalkan. Hasil analisis risiko tsunami juga dapat digunakan untuk menata ulang kembali kawasan pantai termasuk menentukan program mitigasinya.

Analisis risiko dimaksudkan untuk memetakan zona risiko tsunami, menilai aset untuk estimasi kerugian jika tsunami terjadi dengan titik berat pada empat objek (bangunan, penduduk, fungsi lahan, aset bergerak), serta membuat sistem informasi risiko tsunami yang mudah diakses masyarakat luas. Sistem peringatan dini sebaiknya juga dibakukan dengan mengacu pada TEWS (*Tsunami Early Warning System*) nasional dan pengembangan sistem peringatan dini lokal, misalnya penggunaan alarm, kentongan, atau cara lain yang efektif untuk memperingatkan masyarakat jika tsunami terjadi. Kepedulian masyarakat sudah saatnya ditingkatkan tanpa menjadikan masyarakat menjadi ketakutan, dengan cara sosialisasi tanda-tanda tsunami, penetapan jalur-jalur evakuasi, penelusuran kearifan lokal (misal: cerita turun-temurun dari generasi terdahulu yang terkait dengan prediksi bencana), serta secara rutin mengadakan pelatihan/gladi untuk persiapan menghadapi keadaan yang

Sesungguhnya secara umum, kawasan yang memiliki risiko tsunami tertinggi adalah sebagai berikut: perkotaan dekat pantai, kawasan wisata pantai, dan permukiman nelayan. Kawasan perkotaan memiliki risiko

tinggi karena merupakan pusat aktivitas manusia dan hampir semua aset berada di kawasan ini. Kawasan wisata juga termasuk kawasan yang berisiko tinggi, karena pada saat-saat tertentu (misal: liburan) kawasan ini sangat padat pengunjung dan banyak infrastruktur penunjang terdapat di sini, seperti bangunan hotel, toko-toko, dan sarana penunjang lainnya termasuk aset bergerak seperti perahu. Adapun permukiman nelayan yang terletak di dekat pantai juga memiliki risiko tinggi, karena jika tsunami terjadi, rumah-rumah dan perahu-perahu yang biasanya diparkir di pantai akan sangat mudah dihantam oleh gelombang tersebut. Penduduk yang bermukim pun juga dapat menjadi korban jika mereka tidak memiliki persiapan sebelumnya. Sebagai tambahan, kawasan-kawasan tersebut pada umumnya tidak memiliki pelindung alamiah (*natural barrier*) ataupun pelindung buatan yang cukup memadai untuk meredam gelombang tsunami.

Pepatah mengatakan, sebaiknya "sediakan payung sebelum hujan". Berdasarkan kondisi seperti tersebut di atas, Kota Cilacap dan Pacitan merupakan dua kawasan perkotaan yang semestinya memiliki kesiapan paling tinggi untuk menghadapi tsunami. Kedua kawasan perkotaan tersebut letaknya paling dekat dengan pantai dibandingkan dengan kota-kota lain di kawasan selatan Jawa, sehingga tingkat risikonya juga akan lebih tinggi.

E. Penutup

Kejadian tsunami di Pangandaran pada tanggal 17 Juli 2006 mengingatkan kembali pentingnya kesiapan menghadapi kemungkinan bahaya tsunami di sepanjang pantai selatan Jawa. Risiko tsunami di

kawasan pantai tersebut relatif tinggi karena kawasan ini berhadapan langsung dengan sumber tsunami, apalagi waktu tempuh gelombang tsunami akan sangat singkat, yaitu <30 menit. Tanpa mengurangi kewaspadaan di daerah yang lain, Kota Cilacap dan Pacitan yang merupakan 2 kota yang paling dekat dengan pantai, memiliki risiko tsunami relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan lain. Oleh karena itu, dua kawasan perkotaan tersebut selayaknya memiliki program mitigasi bahaya tsunami yang terpadu.

F. Referensi

- Bryant, Edward, 2005. *Natural Hazard*, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- Kedaulatan Rakyat, 2006. *Tsunami Tertinggi di Cilacap*, 29 Juli 2006, halaman 1 dan 24.
- Oya, Masahiko, 2001. *Applied Geomorphology for Mitigation of Natural Hazards*, Kluwer Academic Publisher, London.
- Smith, Keith, 1996. *Environmental Hazards Assessing Risk and Reducing Disaster*, Second Edition, Routledge, London.
- VSI, 2006. *Pengenalan Tsunami* (<http://merapi.vsi.esdm.go.id/?static/tsunami/pengenalan.htm>), di akses pada tanggal 22 Juli 2005, pukul 13.30.



ASPEK MORFOLOGI
TERHADAP BAHAYA GUNUNGAPI MERAPI

Widiyanto¹ dan Abdur Rahman²

¹ Fakultas Geografi Fisik Jurusan Fisik

² Bappeda Kabupaten Sleman

Abstract

As long history as nuee ardentes and lava flow is the dangerous threat of Merapi Vulcano. At present day, the streaming of nuee ardentes stream trajectory and stream of lava flow, its bearing with the morphology of Merapi Vulcano and river basin morphology. On the basis of concept uniformitarianisme, swampy forest nuee ardentes sediment and lava flows that happened at the past also by morphology. Therefore, morphology applicable to estimate the danger of nuee ardentes at present time and also period of coming.

Keywords: nuee ardentes, lava flood, morpholog

A. Pendahuluan

Gunungapi Merapi terletak pada persilangan dua buah sesar, yakni sesar transversal yang memisahkan Jawa Timur dan Jawa Tengah, dan sesar longitudinal searah Pulau Jawa. Pada perpotongan sesar tersebut juga ditempati oleh Gunungapi Ungaran - Telomoyo - Merbabu - Merapi, Lawu - Merapi - Sumbing - Sindoro - Gunungapi Slamet (Padang, 1951, Verstappen, 2000).

Gunungapi Merapi termasuk gunungapi yang paling aktif di Indonesia, sehingga sangat mendapat perhatian dari berbagai lapisan masyarakat. Sejarah aktivitas Gunungapi Merapi dapat diketahui berdasarkan umur batuan yang berasal dari endapan hasil erupsi, awan panas, dan endapan lahar yang tersebar di sisi utara, selatan dan sisi barat. Batuan yang terletak pada sisi barat lebih muda dibanding dengan umur batuan pada sisi utara dan selatan, kecuali umur batuan di Sungai Sileng, Borobudur (Newhall, 2000).

Sejak abad XVI hingga abad XX erupsi Gunungapi Merapi mengalami perubahan waktu istirahat dari 71 tahun menjadi 8 tahun, dengan jumlah kegiatan sebanyak 7 kali menjadi 28 kali. Erupsi jarang terjadi pada abad XVI, namun jika terjadi erupsi cukup besar dengan sebaran meluas. Pada abad XX, erupsi yang terjadi relatif kecil dengan sebaran relatif sempit. Peningkatan jumlah erupsi menyebabkan terjadi penurunan tingkat bahaya vulkanis (Bronto, 1996). Secara rinci periode erupsi dan waktu istirahat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Erupsi dan waktu istirahat Gunungapi Merapi

No	Abad	Jumlah erupsi	Waktu istirahat rerata (th)	Waktu istirahat terpanjang (th)
1	XX (1902-1996)	28	<10	8
2	XIX (1807-1894)	19	<10	13
3	XVIII (1745-1797)	5	10	17
4	XVII 1658-1678	5	<10	67
5	XVI 1548-1587	7	<10	71

Sumber ; Bronto, 1996

Atas dasar endapan bahan piroklastis yang berasal dari Gunungapi Merapi, didapatkan sebaran batuan hasil endapan lahar dan endapan awan panas pada sisi utara, selatan dan barat, sedangkan pada sisi timur tidak ditemukan endapan batuan yang seumur dengan batuan pada 3 sisi yang lain. Berdasarkan umur batuan dan

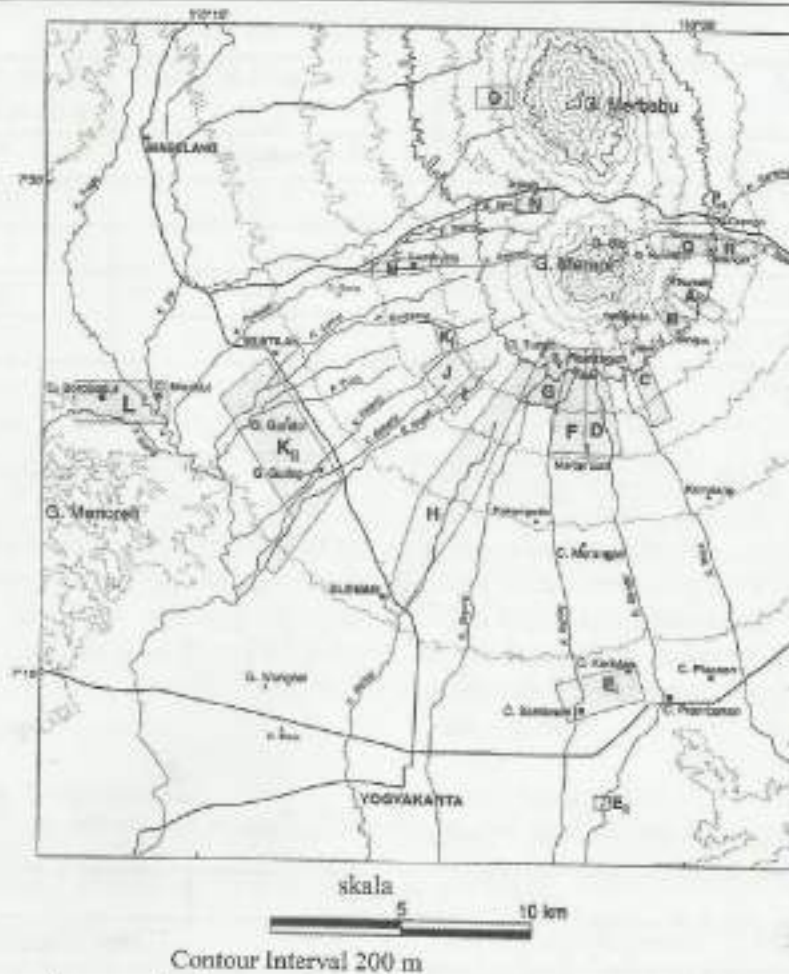
sebarannya yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 1, dapat diketahui bahwa, batuan yang tua terdapat di bagian timur, kemudian timur-timur laut, tenggara, selatan dan umur batuan yang paling muda di bagian barat, kecuali batuan di Kali Sileng.

Tabel 2. Umur batuan pada DAS. Pabelan dan sekitarnya

No	Umur *)	Lokasi dan materi	Lokasi
1	2590 ± 120	Aliran piroklastis, Cepogo,	Timur-Timurlaut
2	9630 ± 60	Aliran piroklastis, Cepogo	Timur-Timurlaut
3	340 ± 70	Aliran piroklastis, S Juweh, Jrakah	Utara-barat laut
4	3750 ± 80	Aliran piroklastis, S Juweh, Jrakah	Utara-barat laut
5	4260 ± 80	Aliran piroklastis, S Juweh, Jrakah	Utara-barat laut
6	880 ± 60	Aliran piroklastis, S. Apu, Jrakah	Utara
7	980 ± 80	Aliran piroklastis, Candi Pendem	Barat laut
8	980 ± 80	Aliran piroklastis, Kajangkoso	Barat laut
9	200 ± 80	Aliran piroklastis, Candi Lumbung, Sengi	Barat laut
10	340 ± 100	Endapan jatuhan, Candi Lumbung Sengi	Barat laut
11	3430 ± 50	Kayu, endapan lempung hitam, Borobudur	Barat
12	790 ± 50	Kinahrejo - Cangkringan	Selatan
13	740 ± 40	Candi Kedulan	Selatan
14	6120 ± 110	Watuadeg (30km S)	Selatan

Keterangan : *) Dihitung dari 1950;

Sumber : Newhall, 2000 (14-15))



Gambar 1. Sebaran batuan pada Gunungapi Merapi dan sekitarnya (Sumber: JVGR, 100(2000) h. 27.

Atas dasar umur dan sebaran batuan tersebut maka muncul pertanyaan: "Bagaimana dan mengapa dapat terjadi perbedaan umur batuan yang berasal dari endapan lahar dan endapan awan panas?". Untuk dapat menjawab pertanyaan ini perlu digunakan konsep: *uniformitarianisme*, yang menyatakan bahwa, proses yang bekerja pada masa lampau sama dengan proses yang berkerja pada masa kini, walaupun dengan intensitas yang berbeda (Thornbury, 1969). Aliran piroklastis pada masa kini, ditentukan oleh morfologi puncak Gunungapi Merapi, sedangkan aliran lahar, ditentukan oleh posisi endapan piroklastis dan besarnya curah hujan. Oleh karena itu, jalur endapan lahar selaras dengan lokasi endapan piroklastis dan morfologi. Dengan demikian maka dapat

dipastikan bahwa morfologi gunungapi sejak abad XVI hingga abad XXI telah mengalami perubahan, kecuali pada sisi timur.

B. Tujuan Dan Manfaat

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui ;

1. jenis-jenis endapan vulkanis,
2. peran morfologi terhadap sebaran endapan vulkanis, peran morfologi terhadap bahaya vulkanis.

Manfaat dari penulisan ini adalah;

1. mengenal endapan vulkanis pada masa lampau dan sekarang,
2. mengetahui mengapa sebaran endapan vulkanis tidak merata,

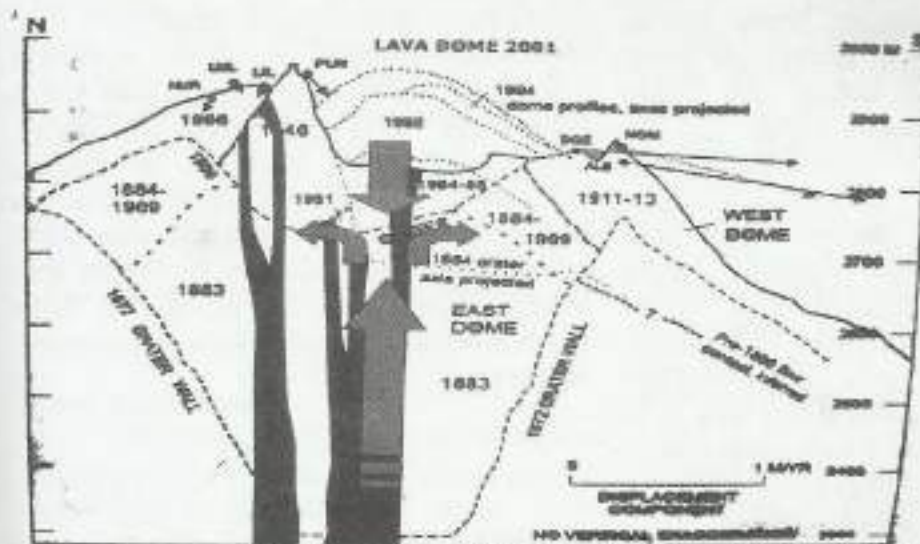
- mengetahui sebaran bahaya vulkanis yang akan datang

C. Tinjauan Pustaka

Penelitian Gunungapi Merapi telah banyak dilakukan sejak Pemerintahan Hindia Belanda hingga sekarang. Hasil analisis 7endapan lahar dan awan panas yang diambil pada sisi utara, barat dan selatan Gunungapi Merapi didapatkan bahwa, aktivitas Gunungapi Merapi sejak abad XVI hingga pertengahan abad XX (tahun 1950), mengalami penurunan waktu istirahat, dari 71 tahun menjadi 8 tahun (Newhall, 2000). Dari hasil penelitian juga ditemukan bahwa, umur batuan paling muda

terdapat di sisi barat, kemudian sisi selatan, tenggara, utara dan timur laut yang paling tua.

Menurut Bemmelen, 1970, bahwa, letusan yang sangat besar telah terjadi tahun 1006, sehingga tubuh Gunungapi Merapi mengalami pelongsoran hebat dari puncak hingga kaki, ke arah barat. Pernyataan Bemmelen tersebut banyak disangsikan kebenarannya (Bronto, 1996). Menurut Newhall, 2000, pada awal abad XIX, Gunungapi Merapi memiliki kawah dengan kedalaman $\pm 450m$, dengan dinding kawah bagian barat relatif lebih rendah dibanding dengan dinding kawah selatan dan utara, sedangkan dinding kawah di sisi timur paling tinggi (Gambar 2). Perkembangan



Gambar 2. Gunungapi Merapi (Sumber: BPPTK, Yogyakarta, 2006)

Atas dasar kenyataan morfologi tahun 1902, bahwa, Gunungapi Merapi membentuk dinding kawah berbentuk tapal kuda, maka hampir seluruh aliran piroklastis ke arah barat (Bronto, 1996). Dalam perkembangan selanjutnya, aktivitas Gunungapi Merapi membentuk kubah lava menumpang pada kawah yang telah penuh. Kedudukan kubah lava dapat pada permukaan yang datar atau miring. Pertumbuhan kubah lava baru terus berlangsung, baik pada lokasi kubah lava yang telah ada, berdampingan dengan kubah lava lama, maupun di tempat lain. Tumbuhnya kubah lava baru di belakang kubah lava lama dapat menyebabkan terganggunya kestabilan kubah lava lama,

sedangkan tumbuhnya kubah lava baru di depan kubah lava lama akan menyebabkan runtuhnya kubah lava baru.

Guguran kubah lava lama yang masih aktif, maupun pada guguran kubah lava baru dapat menimbulkan awan panas guguran. Arah guguran kubah lava mengikuti "celah" pada dinding kawah, selanjutnya mengalir mengikuti alur pada kerucut gunungapi dan akhirnya mengendap pada hulu sungai. Jika terjadi hujan yang dapat mengganggu stabilitas kedudukan kubah lava, maka endapan piroklastis ini dapat longsor dan menjadi aliran lahar. Lahar bergerak karena pengaruh gravitasi pada endapan piroklastis yang jenuh air

(Thornbury, 1969). Peran air pada aliran lahar adalah menambah berat massa batuan, sehingga kedudukan endapan piroklastis menjadi labil dan mudah bergerak. Lahar dapat melimpas keluar alur sungai, karena: perubahan gradien, kelokan sungai, alur sungai yang dangkal, dan pada alur sungai yang sempit. Besar-kecilnya aliran lahar ditentukan oleh jumlah endapan piroklastis, lokasi endapan piroklastis, dan besarnya curah hujan.

Verstappen, (1954), membedakan tubuh gunungapi menjadi tiga penggal lereng, yaitu: lereng atas, lereng tengah dan lereng bawah. Lereng atas dicirikan oleh gerakan material batuan yang dipengaruhi oleh proses gravitasional, lereng tengah dicirikan sebagai lereng perpindahan batuan antara lereng atas dengan lereng bawah, sedangkan lereng bawah merupakan lereng pengendapan material batuan dari lereng atas melalui lereng tengah. Lebih rinci lagi Verstappen (1985), membedakan lereng gunungapi menjadi; kerucut gunungapi, lereng, kaki dan dataran gunungapi. Terbentuknya penggal-penggal lereng gunungapi tersebut sebagai hasil proses pengendapan material batuan hasil erupsi atau guguran kubah lava. Besar-kecilnya erupsi dan volume guguran kubah lava, serta aliran lahar menentukan lokasi pengendapan yang menentukan morfologi gunungapi.

D. Kerangka Pemikiran

Hasil aktivitas Gunungapi Merapi



Gambar 3. Kerangka Pikir Aspek Morfologi Terhadap Bahaya Gunungapi Merapi

dapat diketahui dari sebaran endapan batuan yang berasal dari awan panas atau aliran piroklastis dan endapan lahar. Lokasi endapan awan panas dan endapan lahar sangat berkaitan dengan morfologi pada waktu proses aliran dan pengendapan berlangsung, seperti yang sekarang terjadi. Adanya perbedaan umur batuan yang ditemukan, baik yang berasal dari endapan awan panas, maupun endapan lahar, antara satu lokasi dengan lokasi yang lain, membuktikan bahwa, telah terjadi perubahan morfologi gunungapi, yang menyebabkan perubahan aliran awan panas dan aliran lahar.

Atas dasar penemuan hubungan antara perbedaan umur batuan yang berasal dari endapan awan panas dan endapan lahar antara satu lokasi dengan lokasi yang lain, membuktikan bahwa, perubahan morfologi menentukan arah dan besar aliran awan panas dan lahar (Gambar 3). Dalam kaitannya dengan bahaya gunungapi, perubahan morfologi gunungapi, khususnya bagian puncak yang menentukan arah aliran awan panas, identik dengan perubahan arah bahaya gunungapi. Oleh karena itu, maka peran morfologi terhadap bahaya gunungapi sangat jelas.

E. Metode Pemikiran

Aspek morfologi terhadap bahaya awan panas dan bahaya lahar dilandasi oleh sebaran endapan awan panas dan endapan lahar yang terjadi pada masa kini, dan konsep *uniformitarianisme* yang dilontarkan oleh Thornbury, 1969). Dalam lingkungan dapat diartikan pula; *Bacalah lingkunganmu agar kamu dapat mengerti kondisi di sekitarmu*. Atas dasar kedua konsep tersebut, dilakukan kajian sebaran batuan yang berasal dari awan panas dan lahar yang berasal dari Gunungapi Merapi.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah, peta RBI, skala 1 : 25.000, BAKOSURTANAL, peta topografi skala 1 : 25.000, JICA, hasil pengamatan BPPTK, Yogyakarta, Prosiding seminar dan *Journal*, terutama: (1). *Journal of Volcanology and Geothermal Research. Elsevier*; (2). *Volcanological Survey of Indonesia (VSI)*. Selain bahan-bahan tersebut juga dilengkapi hasil observasi.

Cara analisis data

Morfologi gunungapi mencakup morfologi lereng dan morfologi lembah. Morfologi terdiri atas dua unsur, yaitu: morfometri dan morfografi. Morfometri lereng mencakup; ukuran panjang, dan kemiringan, sedangkan morfografi lereng mencakup; letak penggal lereng satu terhadap yang lain. Morfometri lembah mencakup; kemiringan dasar lembah, tinggi tebing, dan panjang lembah, sedangkan morfologi lembah mencakup; bentuk lembah, pola lembah, dan kelengkungan lembah. Pada suatu gunungapi, morfologi diartikan sebagai morfologi lubang kepundan dan sekitarnya, morfologi lereng gunungapi, mencakup; kerucut, lereng, kaki dan dataran gunungapi, serta morfologi lembah atau morfologi sungai.

Cara analisis hasil

Dalam kaitannya dengan aliran awan panas atau sering disebut aliran piroklastis,

morfologi sangat menentukan arah aliran dan lokasi pengendapan. Endapan awan panas biasanya terletak pada bagian bawah kerucut, atau pada lereng gunungapi. Hujan orografis tertinggi terletak pada ketinggian 1000m hingga 1500m, pada lokasi endapan piroklastis. Akibatnya terjadilah aliran lahar mengikuti morfologi lembah sungai. Penyimpangan aliran lahar dapat terjadi pada kelokan sungai, tebing sungai yang rendah atau pada dasar sungai yang semakin datar. Dengan demikian morfologi gunungapi secara rinci dapat digunakan untuk memperkirakan bahaya awan panas dan lahar yang akan terjadi.

F. Hasil Pemikiran

Bahaya Gunungapi Merapi yang berasal dari awan panas guguran dan lahar sangat ditentukan oleh morfologi puncak atau kerucut bagian atas, morfologi lereng dan morfologi sungai. Morfologi puncak ditentukan oleh pertumbuhan kubah lava, dan pelongsoran yang diakibatkan oleh gempa vulkanis maupun tektonik.

Aliran awan panas dapat menyimpang dari alur jika aliran terlalu cepat dan terjadi pada kelokan lembah. Penyimpangan aliran lahar dapat terjadi jika dasar sungai menjadi datar, kelokan sungai dan tebing sungai rendah. Atas dasar morfologi lereng dan lembah, dapat diperkirakan arah bahaya awan panas dan lahar.

G. Daftar Pustaka

- Anonim. Tanpa Tahun. *Morphology of Merapi*. (http://volcano.und.edu/vwdocs/volcimages/southeast_asia/merapi.html) download tanggal 10 Desember 2006.
- Bemmelen RW. Van. 1970. *The Geology of Indonesia Vol IA. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. The Hague
- Bronto Sutikno, Dewi Sayudi dan Gendoet Hartono. 1996. Variasi luncuran awan panas Gunungapi Merapi dan bahayanya. *Procidings of the 25th Annual Convention of The Indone-*

- sian Association of Geologist*. Diselenggarakan oleh Sekolah Tinggi Teknologi Nasional dengan Akademi Ilmu Pengetahuan Yogyakarta
- Newhall C.G, S. Bronto, Alloway. N.G Blnks. I. Bahar. M.A. del Marmol. R.D. Hadisantono. R.T. Holcomb. J. Mc.Geehin. J.N. Miksic. M. Rubin. S.D. Sayudi. R. Sukhyar. S. Andreastuti. R.I. Tilling. R. Torley. D. Trimble. A.D. Wirakusumah. 2000. 10.000 Years of explosive eruptions of Merapi Volcano, Central Java : archeological and modren implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100(2000) (9-50)
- Padang N van. 1951. *Catalogue of the Active volcanoes of the world including solfatara fields*. Part I Edited by The International Volcanological Association. Napoli. Italia.
- Sutikno, Widiyanto, Langgeng Wahyu Santosa, dan Andri Kurniawan, Taufik Hery Purwanto. 2003. Distribution of Natural Resources and Population density in The Merapi Volcano Area. *Indonesian Journal of Geography*. Vol.35/2Dec.2003. Faculty of Geography Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Thoret. J.C, F. Lavigne. K. Kefloun. S. Bronto. 2000. Toward a revised hazard assesment at Merapi Volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100(2000) (479-502)
- Verstappen.H.1964.*Geomorphological Observations on Indonesian Volcanoes*. E.J. Brill. Leiden.
- Verstappen H.Th. 1985. Applied Geomorphological Surveys for Natural Hazard Zoning. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC) Hal. 4-6
- Voight, EK. Constantine, S. Siswodjojo, R. Torley. 2000. Historical eruptions of Merapi volcano Java, Indonesia. 1768 – 1998. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100 (2000) (69-138)

**PENGAJIAN MITIGASI TANAH LONGSOR PASCA GEMPABUMI
27 MEI 2006 DI DUSUN GUNUNG KELIR, KECAMATAN GIRIMULYO,
KABUPATEN KULONPROGO,DIY**

Winaryo¹ dan Sunarto²

¹Peneliti Pusat Studi Bencana UGM

² Pusat Studi Bencana UGM

Abstract

Threat of mass movement or so-called landslide ordinary became at the rains period because triggered by bulk height and rain intensity. The Gunungkelir village is located at Subdistrict of Gtrimulyo in this Regency of Kulonprogo. The threat is exactly became of dry season moment because triggered by existence of tectonic earthquake 5, 9 Richter at 27 May 2006 then. Tectonic earthquake which strong enough that able to be groggy [off] previous stone crack have [in] Mount of Branti and Beser Mount, added again existing supplement earthquake able to make the rock have a sistematic joint of its mains rock so that fall and rolling downwards aim to the east from where there are tens of resident house, school elementary TK, SD, and SMP.

That occurence generate the fear of vicinity resident so that they are ready to take a rest the nighttime sleep alongside walke or peaceful place. Its influence to resident which its house situation relative [is] peaceful the than slide danger go with the stream to evacuate the, anxious society because their ignorance about how far risk of fallout and rolling petrify that will befall.

Research Center for Disasters collaboration with A Local government of Kulonprogo District (Setda) do the survey and mapping detail the region to determine the storey; level of disaster risk, knowable so that by spasial region which high risk from rockslide threat and can determine the house (persil) becoming priority to be translocation. Others also recomended the mitigation disasters technically and also vegetatif to lessen the existing disaster risk.

Key word: earthquake, disasters, landslide, mitigation,translocation

A. Pendahuluan

Kecamatan Girimulyo (luas 5.540 ha), didominasi oleh morfologi perbukitan dengan topografi yang sangat kasar sehingga mempunyai tingkat bahaya bervariasi dari bahaya longsor sedang sampai tingkat bahaya longsor tinggi. Daerah bahaya longsor mempunyai tingkat resiko bencana yang tinggi jika daerah itu terdapat permukiman penduduk dan dapat terancam keselamatannya.

Gempabumi di Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006 dengan skala 5,9 Richter yang menghancurkan sebagian besar Kabupaten Bantul, Klaten, dan Kota Yogja dirasakan juga getarannya oleh masyarakat di Gunung Kelir dan membuat panik. Dampaknya ada sebagian fragmen batuan yang ada di G. Beser dan G. Branti jatuh dan menggelinding ke arah permukiman. Kejadian ini membuat warga semakin takut dan tidak berani tidur di rumahnya masing-masing dan memilih

tidur mengungsi menempati tenda-tenda di pinggir jalan karena dipandang lebih aman. Pemerintah Kabupaten Kulonprogo segera menyikapi kejadian itu dengan melakukan tindakan darurat seperti memberikan tenda dan bantuan makanan ataupun logistik lainnya. Keadaan ini tidak dapat dibiarkan terus menerus sehingga diperlukan langkah-langkah mitigasi secepatnya agar keadaan menjadi normal kembali.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah untuk :

- a. Melakukan pemetaan detil topografi, pengamatan wilayah dan pengamatan retakan untuk mengetahui tingkat bahaya secara spasial
- Mendapatkan masukan untuk mengambil langkah-langkah mitigasi bencana tanah

longsor

C. Metode Penelitian

1. Tracking dan Routing

Metode ini dilakukan untuk melakukan pemetaan detail topografi dengan menggunakan GPS (*Global Positioning system*). Medan yang bisa dilalui dengan jalan dilakukan memakai GPS dengan melakukan tracking, saat mendapatkan tebing yang tidak mungkin ditembus diterapkan metode routing dengan membelok dengan sudah melakukan penentuan titik belok. Sebelumnya juga dapat dilakukan pengukuran ketinggian tebing (untuk pengontrol) dengan menggunakan alat Lacer Ace, alat ini mampu menjangkau obyek sejauh 1000 meter.

2. Penyisiran

Pengamatan rekahan/retakan, batu yang jatuh (*boulder*) dilakukan dengan penyisiran sepanjang dan seluas area rawan longsor, dengan terlebih dahulu menentukan titik-titik ikat penyisiran.

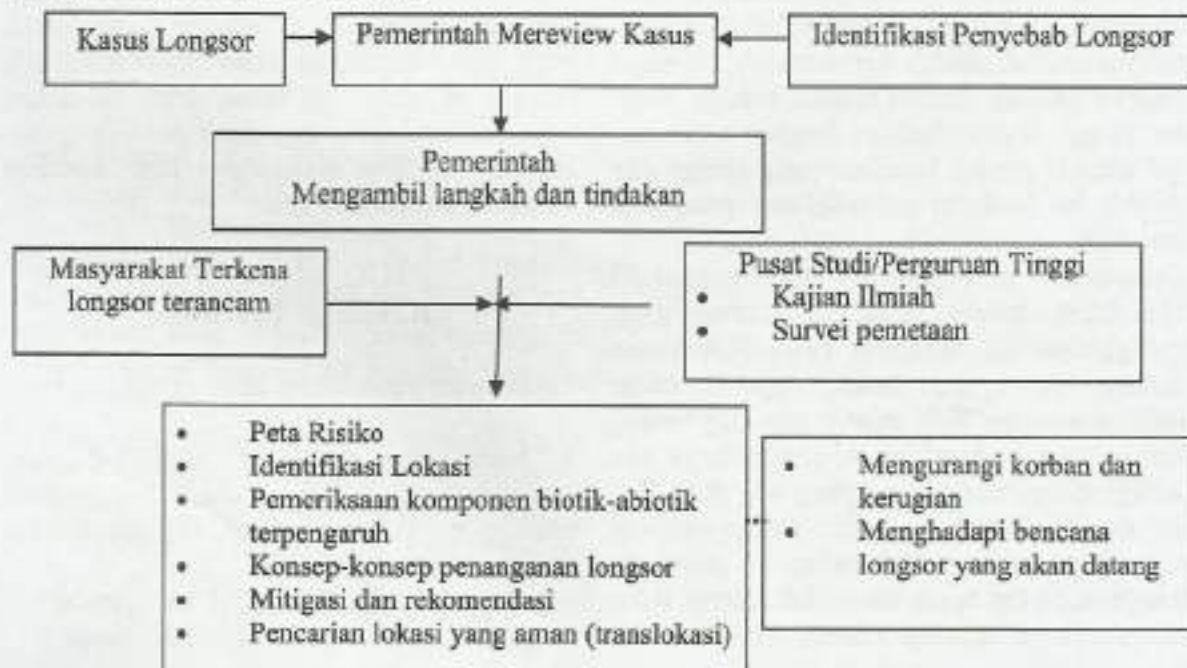
3. GIS (*Geographic Information System*)

GIS adalah seperangkat komponen perangkat keras (*hardware*) dan

perangkat lunak (*software*) yang mampu mengolah data-data baik numerik, text dan spasial serta menganalisisnya secara cepat untuk tujuan tertentu termasuk dalam menolah data pemetaan lapangan. Pengolahannya dilakukan oleh operator yang terlatih. Selain menyimpan data-data tersebut, GIS juga mampu mengupdate data-data tersebut sesuai kebutuhan dan dengan cepat dapat dicetak.

Data dari GPS di download dengan program *mapsource* ke dalam PC (*personal computer*), sekaligus melakukan transfer data yang tercatat dalam GPS tersebut ke dalam format *dbase* atau *excel*. Data lain catatan tentang posisi rekahan, posisi rumah, posisi sekolahan, posisi masjid dll. juga dibuat format *Dbase/Excel*. Input data tersebut selanjutnya diolah dengan *Arc View* sehingga akan dapat disajikan dalam bentuk spasialnya.

4. Diagram 1. Alur Pikir Penelitian



D. Diskripsi Wilayah Dusun Kelir

- a. Lokasi
Lokasi pedukuhan Gunung Kelir terletak pada wilayah Kecamatan Girimulyo bagian Barat Daya yang bagian selatan berbatasan langsung dengan Kecamatan Kokap, dan sebelah barat dengan wilayah Kabupaten Purworejo. Ketinggian wilayah berkisar pada ketinggian 600 – 800 meter diatas muka air laut.
- b. Iklim dan Hidrologi
Iklim di wilayah ini termasuk tipe iklim "C" (Schmidt-ferguson), artinya "agak basah" dengan jumlah bulan basah 8 dan bulan kering 4 dengan rata-rata hujan bulanan 300-350 mm/bulan.
- c. Geologi/Litologi bagian atas merupakan batugamping dari Formasi Jonggrangan (Miosen Bawah) dengan ketebalan >100 meter. Bagian bawah merupakan batuan dari Formasi Andesit tua (Oligo-Miosen).
- d. Geomorfologi
Agihan bentuklahan merupakan perbukitan denudasional yang sebagian wilayah mempunyai lereng >45°. Struktur batuan/stratigrafi batuan tidak jelas. Di sebelah barat terkontrol oleh ekosistem dan topografi karst dan terdapat "Gua Seplawan" (wilayah Kab. Purworejo) yang dibawahnya ada sungai bawah tanahnya. Di sekitar tekuk-tekuk lereng sering dijumpai mata air dan masyarakat sangat tergantung hidupnya dari keberadaan mata air tersebut.
- e. Penggunaan Lahan Permukiman
 - Tegalan: lombok, cabai, kacang tanah, ketela
 - Kebun campuran: Kelapa, kakao, cengkeh, pisang, makutodewo, empon-empon.
- f. Kependudukan
Kepadatan penduduk rata-rata sebesar

99,4 jiwa/ha dengan mata pencaharian sebagai petani, peternak perajin, buruh, dan pegawai. Pola permukimanya menyebar dan mengelompok di sepanjang jalan untuk memudahkan aksesibilitas.

E. Hasil dan Pembahasan

a. Tingkat Kerawanan Tanah Longsor

Tipe longsoran adalah jatuhan (*fall*) dan menggelinding (*rolling*) pada fragmen-fragmen batu gamping di tebing yang lepas dari batuan induk. Wilayah pedukuhan Gunung Kelir sebenarnya mempunyai tingkat bahaya longsor yang sedang artinya frekuensi longsoran dapat terjadi antara 10-25 kali/tahun (PSBA, 2001). Dari segi tingkat resiko bencana masuk dalam kelas tinggi karena di wilayah ini banyak permukiman (sekitar 64 KK, sekitar 240 jiwa) berada di bawah tebing terjal.

- Ciri-ciri longsor:
 - ditemukan pada lereng >45°
 - material longsor berbentuk bongkah boulder dengan ukuran diameter >2m
 - terjadi pada takik lereng.

Berdasarkan proses Bergeraknya material terbentuk dari Bergeraknya material di bagian puncak G. Besar dan G. Branti pada gawir yang sangat terjal dan bersifat kompleks, sangat berbahaya karena pedukuhan Gunung Kelir berada tepat dibawah bukit karena jatuhnya fragmen batuan tidak dapat diduga kapan akan terjadi.

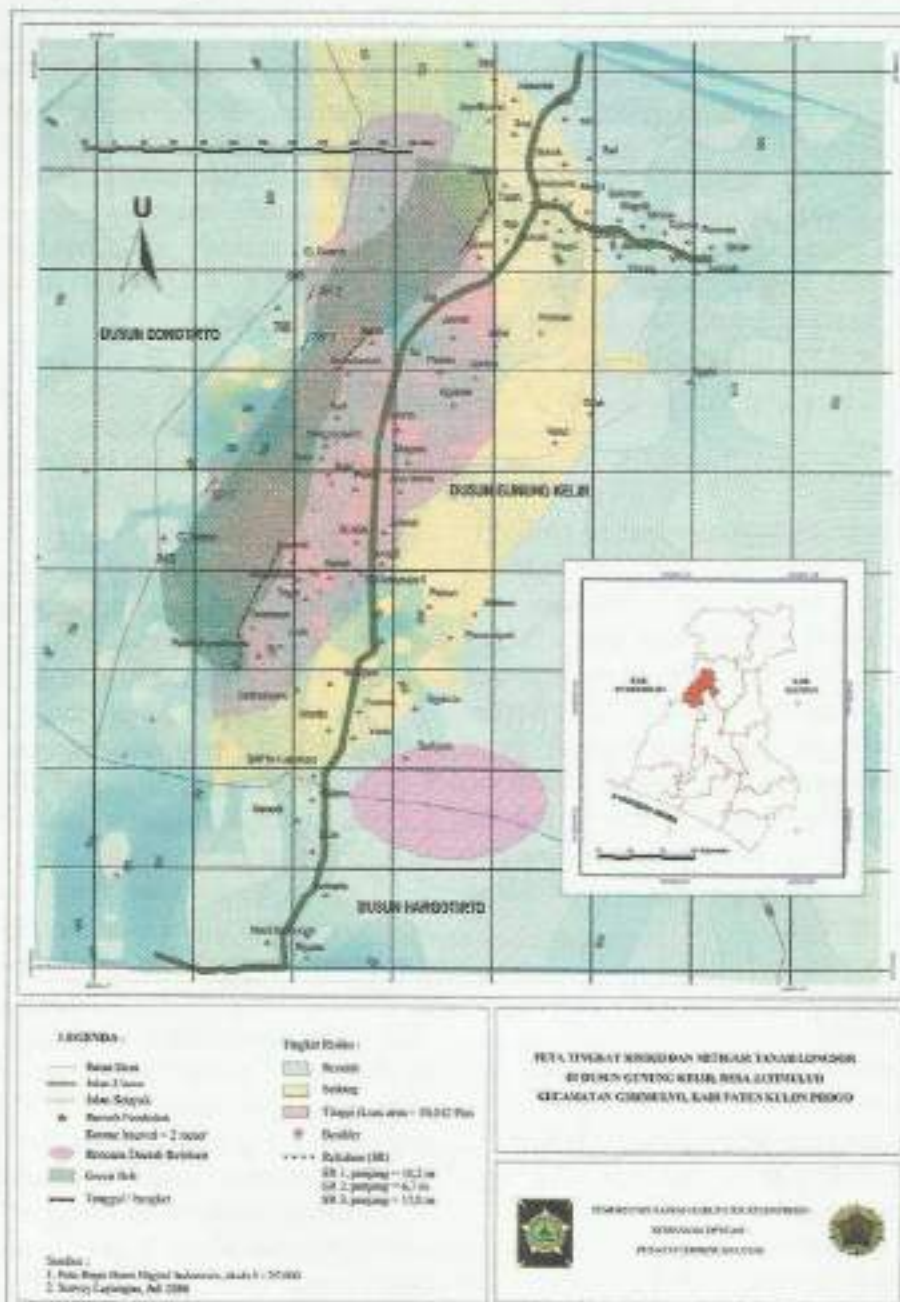
Tingkat kerawanan tinggi berada pada arah timur atau timur laut dari Gunung Besar maupun Gunung Branti. Sedangkan prediksi jangkauan longsor jatuhan batu bisa sampai 200 meter dari Puncak Gunung. Jangkauan jatuhan batu yang longsor ini dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi dan bentuk lerengnya. Lereng yang curam akan menambah potensi luncuran batuan menjadi jauh.

Wilayah barat jalan sebagian besar tingkat resikonya tinggi karena tepat di bagian timur/timur laut dari puncak Gunung Besar dan Gunung Branti. Sedikitnya ada 27 bangunan yang mempunyai resiko tinggi terk-

ena longsor jika batu diatas gunung yang retak itu runtuh. 27 bangunan tersebut termasuk juga gedung Sekolah Dasar dan Taman Kanak-Kanak

Daerah yang relatif aman ditinjau dari tingkat keterengannya, jarak dan arah dari prediksi longsor adalah pada sebagian wilayah di sebelah timur SMTP (Sekolah Menengah Tingkat Pertama). Secara fisik memang aman tetapi kemungkinan ada kendala jika dijadikan tempat translokasi, mengingat areal tersebut sudah menjadi hak milik perorangan. Terlepas dari masalah

krusial tersebut, sekiranya perlu dijembatani oleh Pemerintah terkait untuk mengambil jalan tengah dalam kasus ancaman longsor bagi warga Dusun Gunung Kelir, atas dasar kerukunan bersama dan tanpa merugikan pihak manapun juga. Peta tingkat risiko dan mitigasi tanah longsor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Tingkat Risiko dan Mitigasi Tanah Longsor

b. Mitigasi Tanah Longsor

Yang dimaksud mitigasi dalam hal ini adalah mengambil langkah-langkah strategis (*stakeholder* maupun warga yang terancam longsor) untuk mengantisipasi bencana longsor yang kemungkinan akan terjadi sehingga akan dapat menekan angka korban (jiwa/harta). Adapun tindakan tersebut dilakukan atas dasar konsep yang berwawasan kelestarian lingkungan, dalam arti tindakan yang diusahakan tidak akan merusak ekosistem yang sudah ada tetapi akan dapat memperkuat keberadaan ekosistem setempat. Adapun tindakan mitigasi tersebut adalah;

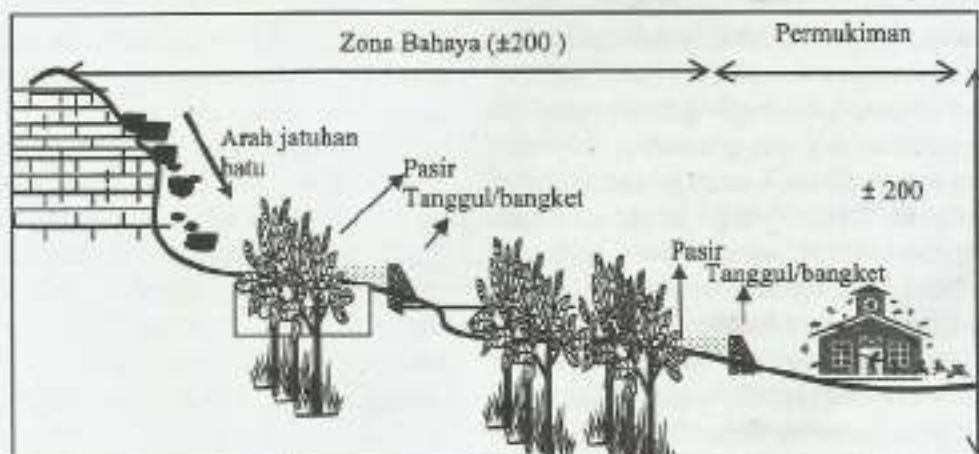
- a) Pengurangan resiko dengan rekayasa teknis
 Rekayasa teknis yang diusulkan adalah membuat tanggul/bangkit yang berisi pasir, fungsinya adalah untuk memperlambat laju menggelindingnya longsoran batu. Posisi tanggul/bangkit ini berada di belakang sabuk hijau (*green belt*). Kontruksi teknisnya minimal dari campuran batu kali dan dilakukan pengecoran. Pembangunannya disarankan dibangun oleh dinas terkait yang ditunjuk oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Purworejo. Mitigasi dengan rekayasa dengan rekayasa teknis ini dapat dengan cepat bisa dilakukan (jangka pendek). Untuk mitigasi tanah longsor di Dusun Gunung Kelir, Kecamatan Girimulyo, Kulonprogo
- b) Pengurangan resiko dengan vegetatif

(green belt)

Mitigasi tanah longsor untuk jenis longsoran jatuhan (*fall*) dan menggelinding (*rolling*) dengan cara vegetatif dapat dilakukan dengan kriteria tanaman tersebut mempunyai akar yang dalam, berkayu kuat dan lentur, dan bertajuk ringan. Kemungkinan yang sesuai adalah tanaman sengon, kemiri, melinjo, atau cengkeh. Pada pelaksanaan tingkat lanjut upaya mitigasi longsor dengan cara vegetatif ini dilakukan oleh oleh Pemerintah Daerah terkait, dari dinas kehutanan dan perkebunan, dan dinas pertanian daerah.

c). Pemanfaatan Lahan

Lahan dengan tingkat kerawanan tinggi tidak direkomendasikan untuk lahan budidaya tetapi sebagai kawasan terbatas, karena dimungkinkan apabila ada aktivitas/kegiatan oleh penduduk setempat jiwa mereka akan terancam oleh bahaya longsor batuan tersebut yang dapat terjadi sewaktu-waktu tanpa pernah diduga. Tidak diperbolehkan adanya pemotongan lereng, karena akan mempengaruhi stabilitas lereng yang dapat memicu terjadinya longsor. Pada lahan dengan tingkat kerawanan sedang dapat dilakukan budidaya tanaman dengan syarat dipilih tanaman yang tepat dengan system drainasi atau terasering.



Gambar 2. Sket mitigasi tanah longsor di Dusun Gunung Kelir Kecamatan Girimulyo, Kulonprogo

F. Kesimpulan dan Rekomendasi

a. Kesimpulan

1. Kondisi puncak Gunung Besar dan Gunung Branti banyak ditemukan *systematic joint* dan rongga dengan tingkat perkembangan lanjut dan dapat lepas dari batuan induknya. Longsor.
2. Permukiman penduduk dibawah tebing terjal (Barat Jalan) mempunyai resiko tinggi terkena jatuhan/gelindingan batuan boulder, terbukti dengan ditemukannya beberapa boulder dengan ukuran yang relatif besar (diameter > 5 m) maupun kecil (diameter < 3 m)
3. Arah jatuhan dan luncuran batu menuju ke Timur dan Timur Laut (mengikuti lereng) dengan jarak luncur mencapai 500 meter dari puncak gunung
4. Jatuhan/luncuran boulder berhenti pada tempat yang datar dan tertahan oleh vegetasi

b. Rekomendasi

1. Masyarakat Gunung Kelir perlu di translokasi ke daerah aman mengingat kondisi G. Besar dan G. Branti rawan longsor.
2. Translokasi ditempatkan pada lokasi yang terletak di sebelah tenggara G. Besar.
3. c) Peledakan G. Besar ataupun G. Branti dapat berakibat rusaknya ekosistem karst dan bahkan akan menambah retakan-retakan baru maupun memperlebar retakan-retakan yang sudah ada dan sangat membahayakan bagi permukiman di bawah kedua gunung tersebut.
4. Segera dilakukan penanaman tanaman keras yang lentur sebagai pengambat laju luncuran batu guling.
5. Dibangun teras bangket untuk penghambat laju luncuran batu guling.
6. Segera koordinasi dengan pemda Purworejo untuk melaksanakan mitigasi bersama-sama.

G. Daftar Pustaka

- Bapeda, 1997, Pemetaan Tanah Semi Detil Kabupaten Daerah Tingkat II Kulonprogo. DIY, Yogyakarta
- Mardiatno, D. 2001, Resiko Longsor di Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Tesis S-2*, Program Studi Geografi, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta
- PSBA UGM, 2001, Penyusunan Sistem Informasi Penanggulangan Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Kulonprogo, Kerjasama dengan Bapeda Kulonprogo, Yogyakarta
- Sutikno, 1994, Pendekakatan Geomorfologi untuk Mitigasi Bencana Alam Akibat Gerakan Masa Tanah/Batuan, Simposium Nasional Mitigasi Bencana Alam UGM, September 1994, Yogyakarta

SISTEM INFORMASI GUNUNGAPI MERAPI

Dulbahri

Pusat Studi Bencana UGM

Indonesia has volcanic arc which extended along Sumatera, Java, Nusa Tenggara, Celebes, Molucca's Islands and Papua. The volcanic range possible generates volcanic eruption and earthquake, so that physically volcano triggered earthquake and lava flow hazard, in spite of cause landslide and mudflow. Mt. Merapi is active volcano which overpopulates dwelt area. On the event of eruption and lava flow will generate high risk hazard.

Geographic Information System (GIS) as a tool enabled for data management and analysis for specific purpose. Data and information was obtained by looking the volcano condition, or direct interview. Condition of Merapi can be observed directly and or indirectly, by satellite imagery and aerial photograph /extraction. Through imagery can be obtained of dome-cracked situation that showing lava flow when eruption happened. Data and information also obtained from related institution, i.e. physical data, inhabitant, health and livelihood. The data and information are readily databases for using or managed.

Database management system which was used is Indonesian Disaster Mitigation Information System (SIPBI). SIPBI for Mt. Merapi loaded specific information about physical conditions, inhabitant (population), settlements, health facility, transportation route and other related data of eruption history. SIPBI useful to spread information quickly at provincial and district level on monitoring, risk valuation, emergency coordination, and also improve BAKORNAS PB/SATKORLAK PB performance. SIPBI play role as disaster risk reduction tool, especially for inhabitant surrounding could prepared.

Kata kunci : SIG, SIPBI, BAKORNAS, SATKORLAK PBP, SATLAK PBP

A. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir ini Indonesia sering dilanda berbagai macam bencana. Bencana terjadi karena faktor fisik ataupun sosial. Bencana fisik misalnya, banjir, longsor, gempa dan yang terbesar adalah tsunami, terjadi hampir merata di kepulauan Indonesia. Bencana sosial timbul karena berbagai macam perbedaan dan ketidakpuasan terhadap kondisi sosial ekonomi terjadi di beberapa daerah di Indonesia, misalnya di Aceh, Makasar, Irian Jaya, dan Kalimantan Tengah. Menurut pengertiannya, bencana adalah: suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang terjadi secara mendadak disebabkan oleh alam, manusia, atau keduanya dengan menimbulkan dampak terhadap pola kehidupan dan penghidupan, gangguan pada sistem pemerintahan yang normal, atau kerusakan ekosistem, sehingga diperlukan tindakan darurat untuk menolong dan menyelamatkan manusia dari lingkungannya.

Berdasarkan pengertian bencana

tersebut dapat diketahui berbagai penyebab timbulnya bencana. Umumnya masyarakat selalu mengkaitkan bencana dengan kondisi fisik tetapi kenyataannya bencana juga dapat timbul karena dipicu oleh kondisi sosial masyarakat, bahkan aturan serta kebijakan yang dikeluarkan pemerintah dalam pengelolaan sumberdaya alam dan manusia dapat menjadi titik penyebab timbulnya bencana. Bencana sosial disebabkan oleh perilaku

manusia, dan bencana struktural disebabkan oleh kekeliruan dalam kebijakan pemerintah. Sumberdaya alam dan keanekaragaman hayati yang merupakan aset kekayaan Negara Indonesia dalam pemakaiannya dapat berkembang menjadi faktor pemicu terjadinya bencana, demikian pula rekayasa teknologi mempunyai kesempatan menjadi faktor pemicu bencana yang disebut bencana antropogenik. Bencana ini timbul akibat rekayasa manusia pada satu tempat tanpa memperhatikan keseimbangan alam.

B. Lokasi Dan Kekayaan

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik yang aktif, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Australia, dan lempeng Pasifik. Letak di pertemuan tiga lempeng tektonik ini menjadikan di Indonesia banyak tumbuh gunungapi dan memiliki banyak pusat-pusat gempa bumi. Indonesia dapat dikatakan sebagai daerah tektonik aktif. Daerah tektonik aktif merupakan daerah rawan gempa, jika pusat gempa ada dilaut maka bencana ikutannya adalah tsunami.

Kondisi geologi yang aktif ini menjadikan Indonesia kaya akan sumberdaya alam. Demikian pula letak astronomis Indonesia di daerah equator menjadikan iklim tropis yang mampu menumbuhkan beragam flora dan fauna. Seluruh kekayaan alam yang terdapat di Indonesia saat ini menjadi rentan terhadap bencana.

Indonesia mempunyai jalur gunungapi mulai pulau Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi, Kepulauan Maluku dan Papua. Jajaran gunung api memberi kemungkinan terjadi gempa dan letusan, sehingga secara fisik gunungapi merupakan pemicu terjadinya bencana gempa, lahar, awan panas, longsor, dan juga tsunami jika yang meletus adalah gunungapi laut.

Indonesia terletak pada daerah katulistiwa yang memiliki iklim tropis basah dengan curah hujan dan intensitas yang tinggi. Pada musim basah, curah hujan merupakan pemicu terjadinya banjir dan longsor, sebaliknya pada musim kemarau saat ini di Indonesia sering terjadi kekeringan dan kabut asap yang dihasilkan dari kebakaran hutan. Dengan kondisi keseimbangan alam yang sudah sangat terganggu, maka saat ini daerah Indonesia menjadi daerah yang rentan terhadap bencana banjir, longsor, kekeringan dan kabut asap.

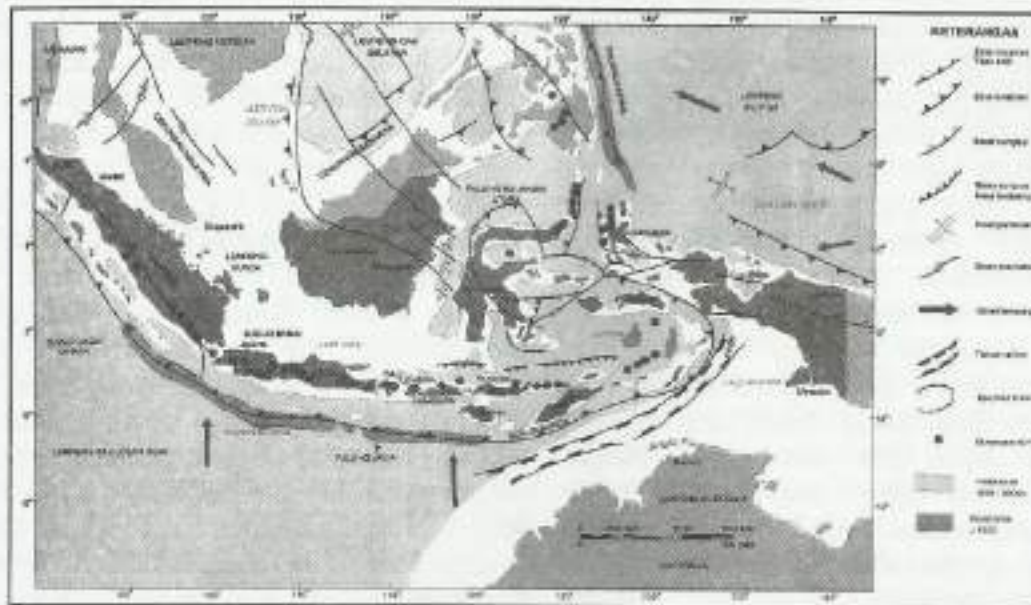
Disamping punya kekayaan sumberdaya alam, ribuan pulau yang membentuk Negara Indonesia telah menimbulkan banyak suku bangsa, demikian pula bermacam agama dan adat istiadat/kultur ada di Indonesia, ini semua adalah jumlah total kekayaan negara Indonesia. Semua Kekayaan merupakan anugerah yang sangat membanggakan bila

dapat dikelola dengan baik. Bila kekayaan Indonesia dicermati, maka kekayaan dan keberagaman suku bangsa dan agama, dapat berfungsi menjadi faktor pemicu timbulnya bencana sosial. Selayaknyalah keberagaman suku, agama, adat istiadat/kultur tidak digunakan untuk kepentingan lain, agar masalah sosial tidak meruncing menjadi bencana sosial. Jenis bencana ini sangat sukar dimitigasi karena menyangkut kelompok dan sikap yang ada dalam masyarakat.

Bencana dapat merupakan kejadian alami, dan antropogenik yang semuanya menyangkut hidup dan kehidupan manusia. Keterkaitan dengan manusia terjadi karena manusia merasa dirugikan oleh peristiwa bencana. Bila bencana di Indonesia ditinjau secara lebih detil, misalnya individual pulau, maka kondisi pulau haruslah diketahui lebih rinci.

Pulau Jawa mempunyai ukuran yang relatif kecil dalam arti perbandingan antara ukuran luas dengan topografinya, namun pulau ini merupakan pulau yang paling tinggi jumlah penduduknya di Indonesia, yaitu 121.352.622 (BPS 2000). Dengan jumlah penduduk yang tinggi tersebut maka Pulau Jawa rawan terhadap bencana, atau dapat dikatakan pulau dengan risiko tinggi terhadap bencana.

Risiko adalah perkiraan kehilangan/kerugian (orang meninggal, orang luka, kerusakan harta benda, gangguan aktifitas ekonomi) akibat bencana. Berdasarkan pengertian ini maka penduduk Pulau Jawa mempunyai risiko tinggi terhadap bencana



Gambar 1. Persebaran gunungapi di Indonesia (Katili dan Siswawidjojo, 1994)

C. Kondisi Daerah Istimewa Yogyakarta

Pulau Jawa dikategorikan sebagai daerah tektonik aktif, memiliki banyak gunungapi aktif dan bertopografi kasar (rata-rata ketinggian puncak gunungapinya lebih dari 2000 m, dengan lebar penampang utara selatan sekitar 159 km), perbandingan tinggi dan ukuran lebar pulau Jawa yang menyebabkan lereng permukaan umum termasuk besar. Iklimnya tropis basah dengan curah hujan yang tinggi. Luas pulau ini relatif kecil tetapi memiliki penduduk yang padat, dengan demikian merupakan suatu kawasan yang sangat rentan terhadap bencana.

Jalur gunung api yang relatif terletak pada bagian tengah merupakan indikator besarnya lereng permukaan, dan lereng ini merupakan faktor yang dapat memperbesar kemungkinan terjadinya bencana. Bencana pada kawasan yang berpenduduk padat pada umumnya akan menelan korban yang besar, kerugian terdiri atas jiwa, harta benda, dan kehidupan. Sebagai contoh Daerah Istimewa Yogyakarta, puncak gunungapi Merapi mempunyai ketinggian lebih kurang 2900 m dan bagian terlebar adalah 30 km dari atau ke pantai. Kondisi fisik demikian merupakan indikator bahwa Daerah Istimewa Yogyakarta rawan terhadap bencana gunungapi Merapi, terutama yang ada di

sekitar gunung api Merapi.

Letusan gunungapi Merapi dapat menimbulkan bahaya aliran lahar karena temperatur lahar ini mencapai lebih dari 800°C. Lahar panas dapat menimbulkan kebakaran hutan dan kerusakan lingkungan lainnya. Material yang terendap pada puncak gunungapi Merapi juga dapat menimbulkan bencana. Jika terjadi curah hujan tinggi di puncak Merapi, kandungan air akan menambah berat material sehingga campuran air dan lahar tersebut akan turun dari puncak ke daerah dataran dengan kecepatan tinggi, hal ini dikenal sebagai bencana lahar dingin. Gunungapi Merapi merupakan gunungapi yang aktif dan berpeduduk padat, apabila terjadi letusan dan "banjir" lahar maka akan menimbulkan bencana dengan risiko tinggi.

D. Pengelolaan Informasi Bencana

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sarana yang dapat dimanfaatkan dalam pengelolaan data dan analisis untuk tujuan tertentu. Secara garis besar SIG berfungsi sebagai teknologi untuk pengelolaan data dan analisis keruangan. SIG dapat dimanfaatkan dengan baik apabila para pengguna memahami dan mempunyai persepsi terhadap kenyataan lapangan, hal ini penting agar data yang diperlukan dapat

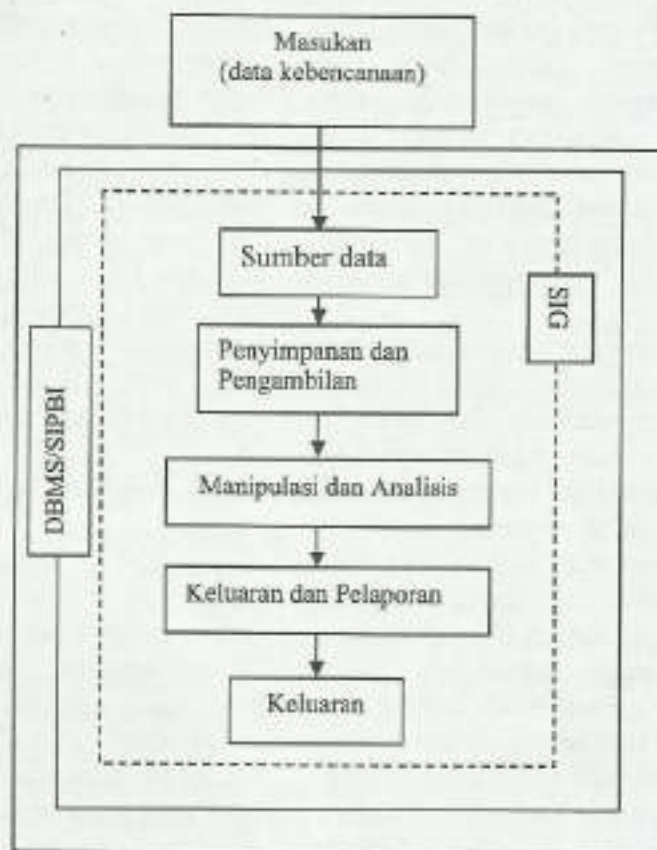
dikumpulkan dengan benar. Data tentang kenyataan lapangan dapat disimpan dan dikelola atau digunakan.

Data yang terkumpul dapat memberikan gambaran tentang kondisi lapangan, data yang tersimpan dengan baik merupakan gambaran kondisi lapangan dalam struktur SIG. Data tersusun membentuk struktur atau tatanan tertentu dalam "file", dan berbagai file menyusun suatu basis data. Agar mudah untuk diproses dan dianalisis, maka data yang sejenis dikumpul dalam "file" dan secara hierarki "file" disusun dan disimpan dalam basis data dengan indikator yang jelas.

Basis data dapat dibuat berdasarkan satu tujuan tertentu dan isi basis datanya hanya dapat digunakan untuk tujuan tertentu. Basis data dapat pula bersifat umum yang isi basis datanya terdiri dari berbagai macam, sehingga penggunaannya dapat mengambil dan memilih data yang diperlukan. Dalam menyusun basis data perlu pemahaman terhadap obyek dan sumber datanya. Basis data perlu dikembangkan agar setiap

perubahan dapat dipahami. Bila Basis data telah dapat tersusun maka data dari informasi dapat diolah dan dianalisis dalam penentuan perencanaan atau kebijakan.

Sistim pengelolaan basis data yang digunakan adalah Sistim Informasi Penanggulangan Bencana Indonesia (SIPBI). SIPBI gunungapi Merapi khusus berisi data tentang kondisi fisik, sosial, penduduk, permukiman, fasilitas kesehatan, jalur transportasi dan data lain yang berkaitan dengan kondisi gunungapi Merapi, termasuk sejarah letusannya. Lokasi aman untuk tempat perlindungan ketika terjadi letusan dan sumber air-sumber air juga perlu diperhatikan. Data dan informasi tentang gunungapi Merapi tersebut dapat diperoleh dari berbagai instansi.



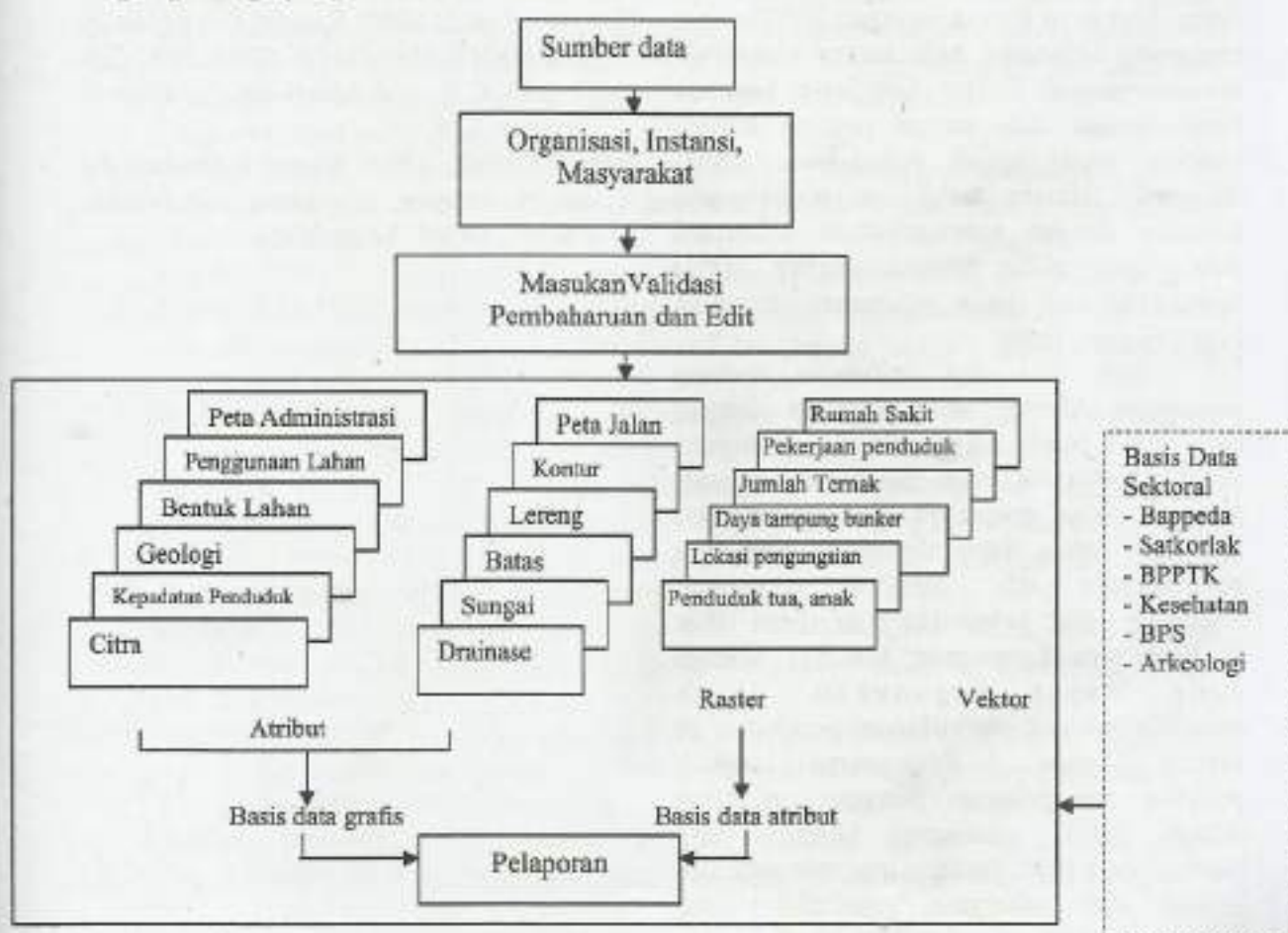
Gambar 2. Struktur Pengelolaan Data SIPBI

Aktivitas gunungapi Merapi telah membangun kesadaran akan perlunya kerjasama antar lembaga-lembaga penelitian kebumihan, lingkungan dan kemanusiaan untuk menjaga keselamatan manusia dan lingkungan di Gunung Merapi. PSBA adalah lembaga yang memusatkan kajiannya di bidang kebencanaan, mempunyai kewajiban untuk memberikan informasi tentang kebencanaan. Para pakar kebumihan dan lingkungan dari PSBA memberikan perhatian penuh pada kondisi keaktifan Merapi. Berita tentang keaktifan Merapi selanjutnya disampaikan kepada masyarakat Merapi secara langsung ataupun tidak langsung.

Gunungapi Merapi memiliki tipe letusan dan jenis bahayanya sendiri yang berbeda dari tipe letusan gunung api lainnya di Indonesia misalnya Galunggung, Krakatau, dan Tambora. Berdasarkan tipe letusan Merapi yang pernah tercatat, maka letusan gunung ini tidak sedahsyat letusan Krakatau, Tambora ataupun Galunggung. Ketiga gunung yang disebut terakhir ini

memiliki sifat lebih eksplosif ketika meletus.

Kondisi gunungapi Merapi dapat dipantau secara langsung ataupun tidak langsung. Pantauan secara tidak langsung dilakukan melalui citra satelit atau foto udara. Melalui citra dapat diperoleh gambaran rekahan yang akan menunjukkan arah aliran lahar dan nue ardante (awan panas) apabila terjadi letusan. Arah *nues ardante* ditentukan oleh arah tiupan angin dan selanjutnya bergerak di lembah gunung. Kondisi topografi dan rekahan di puncak Merapi serta alur sungai dapat dipelajari untuk menentukan arah aliran tersebut. Berdasarkan informasi rekahan, dapat diperkirakan arah aliran yang mungkin terjadi. Pada umumnya aliran akan mengarah ke Barat Daya atau ke arah Selatan. Bila ke Barat maka daerah yang memperoleh prioritas penanganan dapat di lokalisir, bila ke arah Selatan dapat diketahui kemungkinan daerah yang akan terkena aliran.



E. Penutup

SIPBI merupakan perangkat lunak yang dapat menyimpan, mengolah, memperbaharui (*update*), dan menganalisis data kebencanaan. Data tersebut berupa data keruangan, teks ataupun angka. Pengguna data kebencanaan tersebut ada di tingkat pusat maupun di tingkat daerah. SIPBI berfungsi untuk mempercepat arus informasi pada tingkat propinsi dan kabupaten, meningkatkan kinerja BAKORNAS PB dan SATKORLAK PB dalam perencanaan pantauan evaluasi risiko untuk meningkatkan sistem koordinasi penanggulangan bencana.

SIPBI dapat dioperasikan dalam bentuk jaringan dan berbasis Web. Komunikasi data SIPBI berbasis jaringan (*internet*) dilakukan dengan telepon maupun *Local Area Network* (LAN). Komunikasi ini merupakan dasar hingga penggunaan SIPBI dapat efektif dalam penanggulangan bencana.

Pelaporan yang bersifat dinamis dapat dilakukan karena jaringan SIPBI dapat menerima informasi baik secara elektronik maupun manual. Dalam manajemen bencana pembaharuan data sangat penting karena bencana dapat terjadi setiap saat. SIPBI dirancang khusus untuk penanggulangan bencana dengan memanfaatkan informasi data vektor, raster maupun atribut. SIPBI merupakan sub sistem pelaporan kejadian bencana yang baku.

Bila data dan informasi tentang gunungapi Merapi telah tersusun dengan baik, maka berdasarkan data dan informasi tersebut dapat diketahui dan dilacak sejarah peletusan atau erupsinya. Di samping itu informasi kekar dapat diperoleh dari citra penginderaan jauh. Berdasarkan sejarah peletusan, letak kekar dan arah aliran lahar di buat peta kerawanan bencana Merapi yang dapat digunakan untuk mendistribusikan permukiman penduduk di sekitar Merapi. Selanjutnya langkah prioritas dan program pengungsian dapat dibuat. SIPBI gunungapi Merapi yang memuat data fisik, fasilitas umum/kesehatan, jumlah dan pekerjaan penduduk, jalur lintasan kendaraan, alur sungai dan data

penting lainnya yang perlu diinformasikan. SIPBI dapat berperan sebagai alat sosialisasi rawan bencana untuk penduduk di sekitar gunungapi Merapi agar penduduk dapat bersiaga.

F. Daftar Pustaka

- Bakosurtanal, Pusat Studi Bencana UGM, 2005. *Pengkajian Model Pemetaan Risiko Bencana*. Pusat Studi Bencana UGM. Yogyakarta.
- BPS. 2000., *Jumlah dan Kepadatan Penduduk Pulau Jawa*. www.bps.go.id download 6-4-2006 jam 9.34.
- Dulbahri.(1990) *Sistim Informasi Geografis*, PUSPICS. UGM-BAKOSURTANAL, Yogyakarta
- Dulbahri. (2006). *Konsep Awal Penyusunan Basis Data Jawa Timur*. PSBA, disampaikan pada seminar tata ruang Jawa Timur.
- Katili, J.A. dan S.S. Siswamidjojo, 1994, *Pemantauan Gunungapi di Filipina dan Indonesia*, IAGI, Bandung.
- Morrison Joul.L.1995; *Spatial Data Quality. ELEMENT OF DATA QUALITY*. Edt. Guptill C.S. and Morrison j.L Elsevivi Science. Ltd.
- Pramono Hadi, 1997. *Sistem Informasi Penanggulangan Bencana Indonesia*, PSBA UGM. Yogyakarta.

PETUNJUK UNTUK PENULIS

Jurnal Kebencanaan Indonesia merupakan media publikasi ilmiah hasil-hasil penelitian staf PSBA UGM maupun staf peneliti dari lembaga lain, baik di lingkungan UGM maupun di luar UGM yang berminat dalam masalah kebencanaan. Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia baku atau bahasa Inggris berupa ketikan asli atau rekaman dalam disket atau CD, dengan panjang tulisan maksimum 20 halaman, ketikan kuarto spasi ganda. Redaksi berhak mengurangi panjang naskah yang dianggap terlalu panjang dan tidak penting bagi pembaca, dan berhak menolak naskah yang dianggap tidak memenuhi ketentuan-ketentuan yang dipersyaratkan. Persyaratan naskah disusun mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. *Judul*, ditulis singkat, informatif, dan menggambarkan isi pokok tulisan
2. *Nama pengarang* ditulis lengkap tanpa gelar dan instansi tempat bekerja
3. *Abstrak/Intisari*, dibuat tidak lebih dari 250 kata yang merupakan uraian singkat tulisan secara menyeluruh, yang memuat tujuan, metode dan hasil penelitian
4. *Kata kunci*, dicantumkan di bawah intisari, maksimal 6 kata
5. *Pendahuluan*, menguraikan latar belakang masalah, tujuan penelitian dan teori-teori yang melandasi penelitian tersebut.
6. *Metode penelitian*, yang mencakup materi, alat, cara penelitian dan cara analisis data
7. *Hasil dan Pembahasan*, hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik, peta, diagram, model, kemudian langsung dibahas dengan kaidah-kaidah ilmiah.
8. *Kesimpulan*, merupakan pernyataan singkat dan tepat yang disarikan dari hasil dan pembahasan yang merupakan jawaban atas pertanyaan penelitian.
9. *Ucapan terima kasih* bila perlu
10. *Daftar Pustaka*, mencantumkan pustaka-pustaka yang dirujuk dalam teks uraian (naskah) memuat antara lain: Nama pengarang, tahun terbit, judul, penerbit dan kota terbit. Contoh:
Hamblin, W.K., 1992, *Earth's Dynamic Systems*, Macmillan Publ. Co., New York.
Sudibyakto, 1996, The Eruption of Merapi Vulcano, *The Indonesian Journal of Geography*, Vol.28, No.72, Faculty of Geography, Gadjah Mada University, Yogyakarta, pp. 23-38.
Bramton, A.H., 1992, Beaches-the Natural Way to Coastal Defence, In: *Coastal Zone Planning and Management*, M.G. Barret (Ed.), Thomas Telford. London.
Meijerink, A. M. J. 1975. Basic Principles of Interpretation of Imagery for Hydrologic Surveys with Examples of Interpretation of MSS Satellite Imagery. In: *Proceeding of the Joint UN and FAO Regional Seminar on Remote Sensing Application*. Lapan, Jakarta, Indonesia.
Setiawan P. 1993. Studi Air Tanah Dungeon Menggunakan Teknik Geolistrik di Graben Bantul, Yogyakarta. Laporan Penelitian. Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.
Yokota's. 1988. "Posthumous Text on Sabo Works". Volume II. Ministry of Public Works Directorate General of Water Resources Development Directorate of Rivers Volcanic Sabo Technical Centre, Yogyakarta.
Chazine, Jean-Michel, *Discovery of New Ornatated Caves in Borneo (East Kalimantan)*, <http://www.kalimantanthrope.com>, update 27 Juli 2004.



P
08
P
H