

AMBANG BATAS CURAH HUJAN UNTUK BENCANA SEDIMEN DI KALDERA BAWAKARAENG, SULAWESI SELATAN

Oleh: Hasnawir

Hasnawir, (2012), Ambang Batas Curah Hujan di Kaldera Bawakaraeng, Sulawesi Selatan, *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana Volume 3 Nomor 1, Tahun 2012, hal 14-24, 10 gambar.*

Abstract

A large scale landslide occurred on March 26, 2004 at Bawakaraeng caldera of South Sulawesi is considered as one of the worst sediment disasters in Indonesia. The volume of the landslide was about 232 million m³. The landslide was caused by the collapse of the walls of the caldera leading to a flow of a large amount of debris with significant damages including 32 people lost their lives and destruction of properties. Since then the environmental hazard has been threatening till now. In addition, the unstable deposited sediment and further collapse of the caldera may lead to a large-scale landslide and debris-flow in the future. The objective of this study is to determine rainfall thresholds for sediment disaster in the Bawakaraeng caldera. Thirteen landslides including debris flows occurred after the large scale landslide were studied to analyze rainfall thresholds. The threshold rainfall for sediment disaster is very important information for the development of warning systems in the study area.

Keywords: sediment disaster, rainfall threshold, warning system, Bawakaraeng caldera

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana sedimen seperti aliran debris, kegagalan lereng dan tanah longsor adalah salah satu jenis bencana yang dihadapi di Indonesia setiap tahunnya. Dalam sepuluh tahun ini, jumlah kejadian dan korban yang ditimbulkan cenderung meningkat. Di Provinsi Sulawesi Selatan, bencana sedimen menjadi isu penting untuk mitigasi terutama sejak tahun 2004. Tanah longsor diikuti aliran debris terjadi di Kaldera Bawakaraeng yang menghasilkan volume longsor sekitar 232 juta m³ (Harnawir and Kubota, 2011). Volume tanah longsor yang

dihadirkan tersebut menjadikan tanah longsor kaldera Bawakaraeng tercatat sebagai salah satu kejadian tanah longsor yang paling besar di dunia di abad 21 ini.

Tanah longsor tersebut disebabkan oleh runtuhnya dinding kaldera. Bencana ini mengakibatkan 32 orang meninggal, kerusakan pada berbagai infrastruktur dan dampak buruk pada lingkungan. Dampak lainnya adalah ancaman terhadap kelangsungan fungsi Dam Bili-Bili sebagai sumber bahan baku air minum untuk kota Makassar dan kabupaten Gowa. Pasca tanah longsor tahun 2004, aktivitas sedimen cenderung meningkat dan mengarah kepada ancaman bencana terutama pada musim hujan.

Pengaruh curah hujan dalam menghasilkan longsor adalah suatu yang jelas, meskipun sangat sulit untuk menjelaskan secara tepat (Blong and Dunkerley, 1976).

Penulis adalah Peneliti pada Balai Penelitian Kehutanan Makassar, Badan Litbang Kehutanan, Kementerian Kehutanan

Kesulitan ini muncul karena curah hujan hanya mempengaruhi stabilitas lereng secara tidak langsung melalui pengaruhnya terhadap kondisi air-pori di dalam material lereng. Kemudian Caine (1980) menggunakan istilah “pengaruh pemicu” curah hujan terhadap tanah longsor atau aliran debris.

Karakterisasi curah hujan yang memicu tanah longsor atau aliran debris telah digunakan untuk membangun hubungan antara curah hujan dan tanah longsor/aliran debris di berbagai belahan dunia. Parameter curah hujan paling sering diselidiki dalam kaitannya dengan inisiasi longsor meliputi curah hujan kumulatif, curah hujan terdahulu, intensitas curah hujan, dan durasi curah hujan.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk menentukan batasan dengan menggunakan berbagai kombinasi parameter. Sebagian besar lereng runtuh/tanah longsor dipicu oleh curah hujan ekstrim, sejumlah peneliti (misalnya, Campbell, 1975; Cotecchia, 1978; Caine, 1980; Cannon and Ellen, 1985; Neary and Swift, 1987; Kim et al., 1991; Wilson et al., 1992; Larsen and Simon, 1993; Wilson and Wieczorek, 1995; Terlien, 1998; Crosta, 1998; Crozier, 1999; Glade et al., 2000; Wieczorek et al., 2000; Aleotti, 2004; Guzzetti et al., 2004; Hong et al., 2005) telah mencoba untuk menetapkan ambang batas intensitas curah hujan dalam memprediksi lereng runtuh/tanah longsor secara akurat. Berbagai hasil penelitian menentukan batas curah hujan dalam hal intensitas curah hujan, durasi dengan rasio intensitas curah hujan, curah hujan kumulatif pada waktu tertentu, rasio curah hujan dengan curah hujan harian, curah hujan terdahulu dengan curah hujan rata-rata tahunan, dan curah hujan harian dengan maksimum rasio curah hujan terdahulu.

Caine (1980) pertama kali menilai ambang batas curah hujan di seluruh dunia untuk tanah longsor. Nilai ambang batas serupa telah diusulkan untuk California (Cannon and Ellen, 1985; Wieczorek, 1987; Wieczorek et al., 2000), Eropa Selatan Alpen (Cancelli and Nova, 1985; Ceriani et al., 1992), pra-Alpine bagian utara Italia (Guzzetti et al., 2004.), wilayah

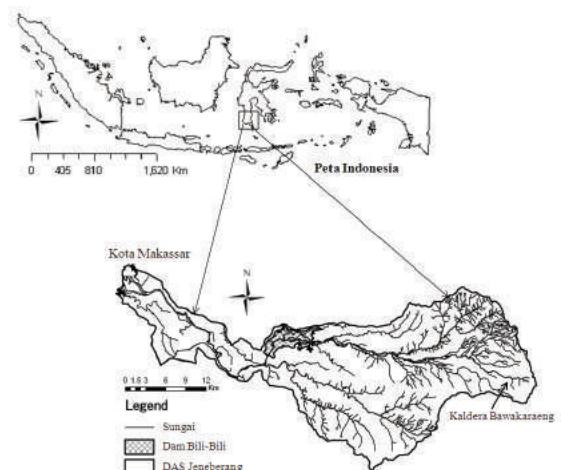
Piedmont Italia (Aleotti, 2004), Korea (Kim et al., 1991.), Cina bagian selatan (Li and Wang, 1992), Jepang (Cotecchia, 1978 ; Yatabe et al., 1986; Yano, 1990; Hiura et al., 2005), Puerto Rico (Larsen and Simon, 1993) dan Himalaya, Nepal (Dahal and Hasegawa, 2008).

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan ambang batas curah hujan untuk bencana sedimen di Kaldera Bawakaraeng, Sulawesi Selatan. Ambang batas ini didefinisikan sebagai tingkat di mana batas curah hujan (intensitas-durasi) akan menyebabkan tanah longsor atau aliran debris dapat terjadi.

2. LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian terletak di kaldera Bawakaraeng, daerah aliran sungai (DAS) Jeneberang, berlokasi 90 km dari kota Makassar, Sulawesi Selatan (Gambar 1).

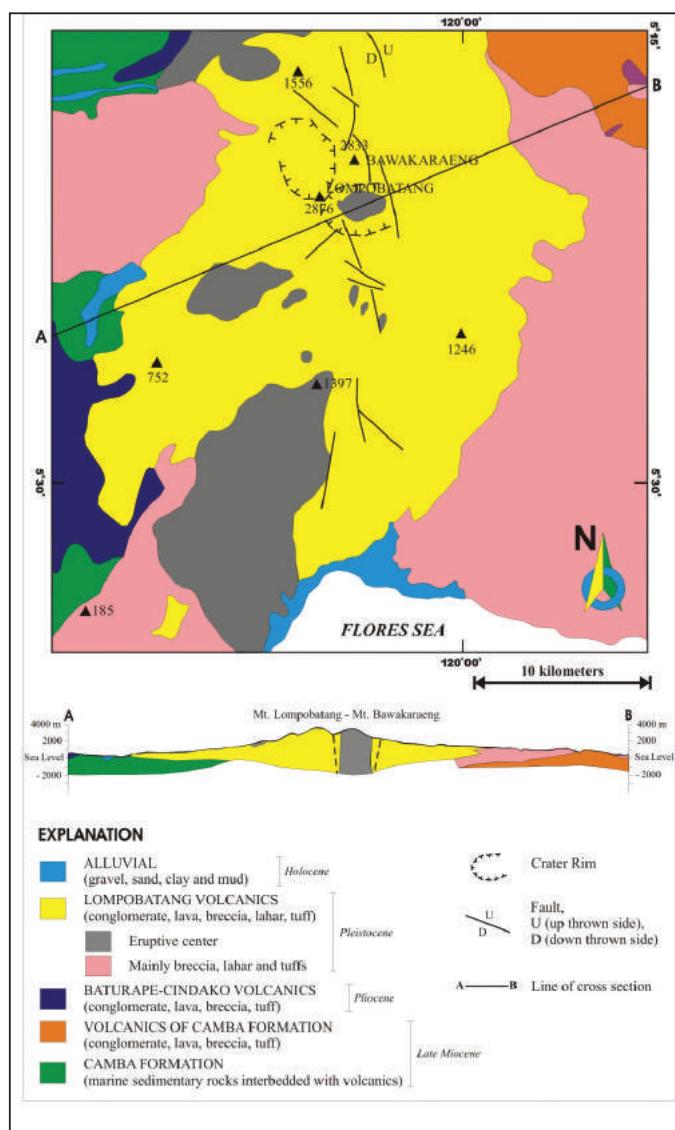


Gambar 1. Lokasi penelitian di kaldera Bawakaraeng, DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan.

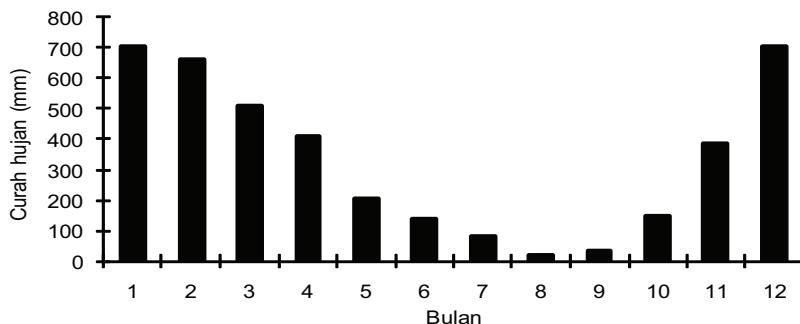
Kondisi vegetasi di lokasi penelitian terdiri dari hutan alam dan hutan tanaman yang didominasi oleh jenis pinus merkusi. Morfologi Kaldera Bawakaraeng ditandai dengan lereng

yang curam, tingkat pelapukan yang tinggi dengan aktivitas erosi seperti gerakan tanah dan tanah longsor. Geologi menunjukkan bahwa kaldera Bawakaraeng dihasilkan dari aktivitas gunung berapi pada periode Pleistosen (Gambar 2). Kondisi hujan di daerah penelitian dan sekitarnya cukup tinggi mencapai 4.000

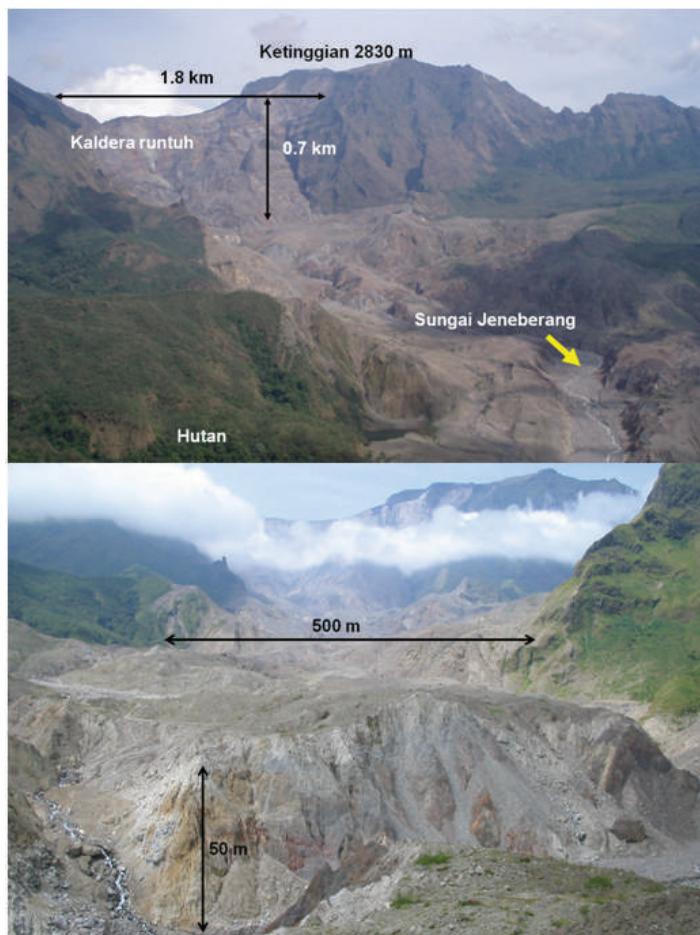
mm/tahun yang terjadi dari bulan Desember hingga Maret. Kondisi curah hujan rata-rata bulanan dapat dilihat pada Gambar 3. Tanah longsor skala besar tahun 2004 di kaldera Bawakaraeng dan perkembangan aktivitas erosi bekas tanah longsoran akibat hujan dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 2. Peta geologi kaldera Bawakaraeng dan sekitarnya (modifikasi dari Sukamto dan Supriatna, 1982).



Gambar 3. Curah hujan rata-rata bulanan di lokasi penelitian (stasiun Malino, 1975 – 2010).



Gambar 4. Tanah longsor yang disertai aliran debri kaldera Bawakaraeng, Sulawesi Selatan tahun 2004. Tanah longsor ini menghasilkan sedimen sebesar 232 juta m³. Hingga saat ini jutaan sedimen masih tersimpan di sekitar kalder (foto: Hasnawir, 2006).



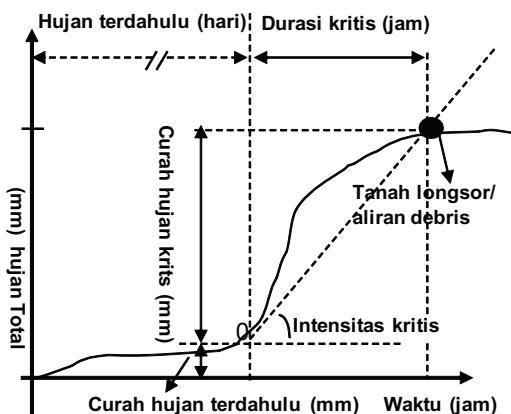
Gambar 5. Perkembangan aktivitas erosi bekas longsoran kaldera Bawakaraeng tahun 2004, lokasi sekitar 7 km dari dinding kaldera yang runtuh (sumber foto: Rampisela, D.A, 2005).

3. METODOLOGI

Secara umum, ada dua jenis ambang batas curah hujan yaitu; ambang batas empiris (*emperical thresholds*) dan ambang batas

fisik (*physical thresholds*). Ambang batas empiris adalah nilai relasional berdasarkan analisis statistik hubungan antara kejadian curah hujan dan tanah longsor (Campbell, 1975; Caine, 1980; Larsen and Simon, 1993;

Crozier, 1999; Guzzetti *et al.*, 2004), sedangkan ambang batas fisik biasanya digambarkan dengan bantuan model hidrologi dan stabilitas yang mempertimbangkan parameter seperti hubungan antara curah hujan dan tekanan air-pori, infiltrasi, morfologi lereng, dan struktur batuan dasar (Montgomery and Dietrich, 1994; Crosta, 1998; Terlien, 1998; Crosta and Frattini, 2001; Jakob and Weatherly, 2003). Curah hujan terdahulu (Crozier, 1999; Rahardjo *et al.*, 2001) juga memainkan peranan penting dalam penentuan ambang batas curah hujan. Hubungan parameter curah hujan dengan tanah longsor atau aliran debris dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini. Gambar 6 ini menjelaskan secara sederhana proses terjadinya tanah longsor/aliran debris di mana curah hujan kritis menunjukkan jumlah curah hujan dari waktu ("titik nol") di mana peningkatan tajam dalam intensitas curah hujan yang diamati memicu tanah longsor/aliran debris.



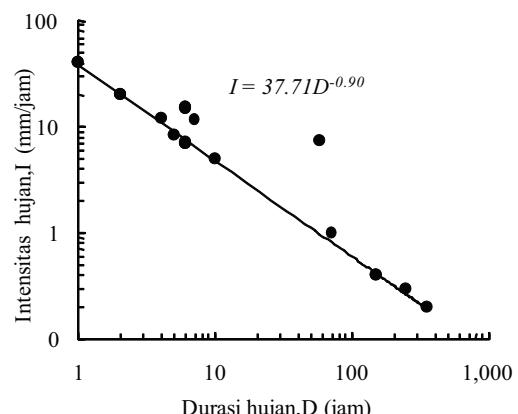
Gambar 6. Hubungan parameter curah hujan dengan tanah longsor/aliran debris (modifikasi dari Aleotti, 2004).

Penelitian ini menggunakan ambang batas empiris (empirical thresholds). Data curah hujan dan tanah longsor atau aliran debris dikumpulkan dari Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Sulawesi Selatan dan Perusahaan Hazama-Brantas, JO (2004–2010). Regresi untuk ambang curah hujan diperoleh dari hubungan antara intensitas curah hujan (I , mm / jam) dan durasi curah hujan (D , jam).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ambang batas curah hujan

Pasca kejadian tanah longsor skala besar tahun 2004, tiga belas kasus tanah longsor termasuk aliran debris dengan intensitas-durasi curah hujan untuk ambang batas curah hujan di kaldera Bawakaraeng dianalisis. Nilai regresi intensitas-durasi curah hujan adalah $I = 37.71D^{-0.90}$, di mana I adalah intensitas curah hujan dalam mm/jam dan D adalah durasi curah hujan dalam jam (Gambar 7).

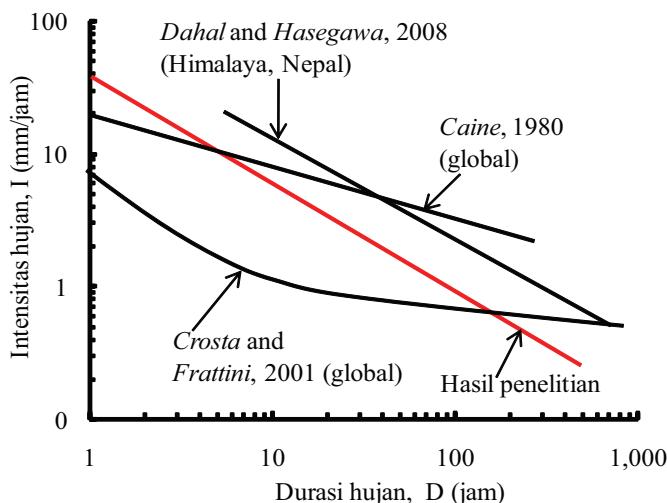


Gambar 7. Ambang batas curah hujan untuk bencana sedimen di kaldera Bawakaraeng. Jika kondisi intensitas dan durasi hujan melampaui garis batas, ini menunjukkan kemungkinan terjadinya tanah longsor atau aliran debris.

Analisis regresi menunjukkan bahwa intensitas curah hujan meningkat secara eksponensial dengan berkurangnya durasi curah hujan. Menurut analisis ambang batas empiris, kurva regresi dapat dianggap sebagai ambang batas intensitas-durasi untuk daerah penelitian ini. Di atas garis peringatan peristiwa tanah longsor atau aliran debris mungkin terjadi.

Dibandingkandenganglobalambahbatas curah hujan (Caine, 1980; Crosta and Frattini, 2001), kaldera Bawakaraeng membutuhkan intensitas curah hujan yang lebih tinggi

untuk terjadinya tanah longsor. Namun jika durasi hujan melebihi 6 jam maka kaldera Bawakaraeng membutuhkan intensitas curah hujan lebih rendah dibanding ambang batas global (Caine, 1980) untuk tanah longsor terjadi. Demikian pula jika melewati 6 hari durasi hujan, maka kaldera Bawakaraeng membutuhkan intensitas curah hujan lebih rendah dibanding ambang batas global (Crosta and Frattini, 2001) untuk tanah longsor terjadi. Tapi ketika dibandingkan dengan Himalaya ambang batas curah hujan (Dahal and Hasegawa, 2008), kaldera Bawakaraeng membutuhkan intensitas curah hujan yang lebih rendah untuk tanah longsor terjadi (Gambar 8).



Gambar 8. Membandingkan ambang batas curah hujan kaldera Bawakaraeng dengan ambang batas curah hujan secara global dan Himala, Nepal.

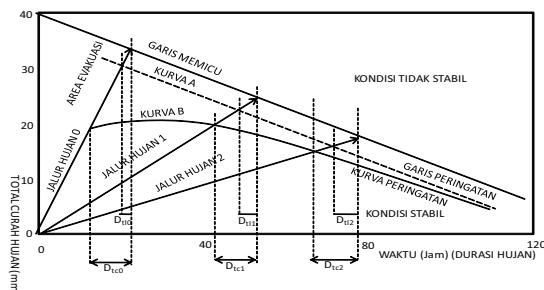
4.2 Ambang batas untuk sistem peringatan

Penggunaan sistem peringatan berbasis ambang batas empiris telah banyak digunakan pada berbagai tipe bencana. Hal penting dari sistem ini adalah tersedianya komponen terkait dengan prakiraan curah hujan, real-time pengamatan curah hujan dan ambang batas curah hujan dengan tanah longsor atau

aliran debris. Sistem peringatan ini pertama kali dikembangkan oleh USGS di San Francisco (Keefer *et al.*, 1987; Wilson and Wieczorek, 1995). Sistem peringatan ini didasarkan pada perkiraan kuantitatif curah hujan (6 jam curah hujan mendatang) dari kantor pelayanan cuaca nasional dalam sebuah sistem jaringan alat pengukur curah hujan real-time lebih dari 40 buah secara terus menerus dan ambang batas curah hujan yang menginisiasi tanah longsor (Cannon and Ellen, 1985).

Sistem serupa juga dikembangkan di Hong Kong (Brand *et al.*, 1984.), Italia (Sirangelo and Braca, 2001), Jepang (Onodera *et al.*, 1974), Selandia Baru (Crozier, 1999), Afrika Selatan (Gardland and Olivier, 1993) and Virginia (Wieczorek and Guzzetti, 1999). Di Hong Kong telah menerapkan sistem komputer secara otomatis untuk sistem peringatan tanah longsor dan ini merupakan sistem yang pertama kali di dunia untuk pendugaan tanah longsor (Premchitt, 1997). Sistem peringatan tanah longsor ini berdasarkan perkiraan curah hujan jangka pendek dan sistem ini dilengkapi alat pengukur curah hujan sebanyak 86 buah. Peringatan akan tanah longsor umumnya dikeluarkan jika dalam 24 jam hujan diperkirakan akan melebihi 175 mm atau dalam 1 jam curah hujan diperkirakan akan melebihi

70 mm. Dalam situasi seperti ini, radio lokal dan stasiun televisi diminta untuk menyiarkan peringatan kepada publik secara berkala. Ketika mengidentifikasi ambang batas peringatan, maka penting untuk mempertimbangkan dua hal pokok, yaitu kecenderungan untuk memicu ambang batas dan masalah logistik yang bisa terjadi selama prosedur darurat evakuasi. Sebagai contoh dari hal ini, apabila batasan peringatan dapat didefinisikan sebagai kurva yang sejajar dengan ambang memicu (kurva A pada Gambar 9), atau kurva yang ditetapkan sebagai waktu kritis " Δtc " (yaitu waktu minimum yang diperlukan untuk mengevakuasi penduduk dari bahaya), bersifat konstan tidak



Gambar 9. Kurva peringatan bencana sedimen berdasarkan ambang batas curah hujan. Kurva peringatan didefinisikan sebagai batas di mana jika terlampaui maka prosedur keadaan darurat segera dilakukan (modifikasi dari Aleotti, 2004).

terpengaruh dari jalur hujan dari curah hujan kritis, $\Delta t_{c1} = \Delta t_{c2}$ (kurva B pada Gambar 9).

Sebagai bahan tambahan, bencana tanah longsor tahun 2004 diikuti aliran debris. Hal ini mengisyaratkan perlunya tindakan mitigasi dilakukan dalam rangka meminimalkan risiko yang dapat menyebabkan korban jiwa dan kerugian yang sama atau lebih di masa yang akan datang.

Pemilihan dan strategi mitigasi bencana yang tepat menjadi penting dalam mencegah ataupun mengurangi tingkat kerusakan dan korban bencana yang mungkin dapat ditimbulkan. Pendekatan mitigasi bencana sedimen dapat dilakukan dengan berbagai cara. Secara umum, ada dua pendekatan mitigasi bencana yang dapat dilakukan, yaitu dengan pendekatan struktur (*structural approach*) dan pendekatan bukan struktur (*non structural approach*).

Pendekatan struktur dapat dilakukan dengan konstruksi sabo dam atau kontruksi bangunan sipil. Sedangkan dengan pendekatan bukan struktur dapat dilakukan dengan pengamatan curah hujan, pengamatan tanah longsor atau aliran debris, menerapkan sistem peringatan pada bencana dan evakuasi penduduk. Penerapan mitigasi bencana sedimen baik berupa pendekatan struktur dan pendekatan bukan struktur telah dilakukan di lokasi penelitian seperti misalnya membangun tujuh buah sabo dam untuk mengontrol aliran sedimen, pengamatan curah hujan, pemantauan tanah longsor atau aliran debris serta evakuasi masyarakat yang bermukim di lokasi rawan bencana ke daerah yang lebih aman. Evakuasi ini ada sebanyak 35 kepala keluarga di dusun Lengkese (Gambar 10).



Gambar 10.

- Sabo Dam No 7.3 di Hulu Sungai Jeneberang, 7 km dari kaldera yang runtuh tahun 2004 (foto: Hazama-Brantas, JO, 2007),
- Pengamatan curah hujan untuk informasi kemungkinan terjadinya bahaya longsor atau aliran debris, terletak 5 km dari kaldera yang runtuh tahun 2004 (foto: Hasnawir, 2007),
- Salah satu titik pengamatan untuk aliran debris, 8 km dari kaldera yang runtuh tahun 2004 (foto: Hasnawir, 2007), dan
- Lokasi evakuasi penduduk korban bencana tanah longsor tahun 2004 di Kabupaten Gowa, pemerintah membangun rumah sebanyak 35 buah pada tahun 2005 (foto: Hasnawir, 2006).

5. KESIMPULAN

Penelitian tentang ambang batas curah hujan untuk bencana sedimen di kaldera Bawakaraeng menghasilkan suatu nilai persamaan $I=37.71D-0.90$, di mana I adalah intensitas curah hujan dalam mm/jam dan D adalah durasi curah hujan dalam jam. Sistem peringatan berbasis ambang batas curah hujan menjadi sangat penting dalam rangka pengembangan sistem peringatan dini. Peringatan bencana sedimen di Kaldera Bawakaraeng dapat dikeluarkan jika curah hujan dalam waktu 1 jam diperkirakan melewati 40 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Aleotti, P., 2004. *A warning system of rainfall-induced shallow failure*, Engineering Geology, Vol. 73, pp. 247–265.
- Blong,R.J.andDunkerley,D.L.,1976.*Landslides in the Razorback area, New South Wales, Australia*, Geogr.Ann, Vol. 58A, pp. 139–149.
- Brand, E.W., Premchitt, J. and Phillipson, H.B., 1984. *Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong*. Proc. of the IV International Symposium on Landslides, Toronto, Vol. 1, pp. 377–384.
- Caine, N., 1980. *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows*, Geografiska Annaler, Vol. 62A, pp. 23–27.
- Campbell, R.H., 1975. *Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California, U.S. Geological Survey Professional Paper 851*, pp. 1–20.
- Cancelli, A. and Nova, R., 1985. *Landslides in soil debris cover triggered by rainstorm in Valtellina (Central Alps, Italy)*, Proc. Of the IV International Conference on Landslides, Tokyo, Vol. 1, pp. 267–272.
- Cannon, S.H. and Ellen, S.D., 1985. *Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay region, California*, California Geology, Vol. 38, No.12, pp. 267– 272.
- Ceriani, M., Lauzi, S. and Padovan, N., 1992. *Rainfall and landslides in the Alpine area of Lombardia Region, central Alps, Italy*, Proceedings, Interpraevent Int. Symp, Bern, Vol. 2, pp. 9–20.
- Cotecchia, V., 1978. *Systematic reconnaissance mapping and registration of slope movements*, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Vol. 17, pp.5–37.
- Crosta, G., 1998. *Regionalization of rainfall threshold: an aid to landslide hazard evaluation*, Environmental Geology, Vol. 35, pp. 13–145.
- Crosta, G. and Frattini, P., 2001. *Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow*, Proc. of EGS 2nd Plinius Conference 2000, Mediterranean Storms, Siena, pp. 463–488.
- Crozier, M., 1999. *Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model*, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 24, pp. 825–833.
- Dahal, R.K. and Hasegawa, S., 2008. *Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya*, Geomorphology, Vol. 100, p. 429–443.
- Gardland, G.G. and Olivier, M.J., 1993. *Predicting landslides from rainfall in a humid, subtropical region*. Geomorphology 8, 165– 173.
- Glade, T., 2000. *Modelling landslide triggering rainfall thresholds at a range of complexities*. Proc of the VIII International Symposium on Landslides, Cardiff, vol. 2. Telford, London, pp. 633– 640.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Cipolla,F., Sebastiani, C., Galli, M. and Salvati, P., 2004. *Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy*, Engineering Geology, Vol. 73, pp. 229–245.

- Hasnawir and Kubota, T., 2011. *Landslide susceptibility evaluation by 3-D slope stability analysis*, International Journal of Ecology & Development. Pp. 1–14.
- Hiura, H., Kaibori, M., Suemine, A., Yokoyama, S. and Murai, M., 2005. *Sediment related disasters generated by typhoons in 2004*. In: Senneset, K., Flaate, K., Larsen, J.O. (Eds.), *Landslides and Avalanches ICFL 2005 Norway*, pp.157–163.
- Jakob, M. and Weatherly, H., 2003. *A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia*, Geomorphology, Vol. 54, pp. 137–156.
- Kim, S.K., Hong, W.P. and Kim, Y.M., 1991. *Prediction of rainfall triggered landslides in Korea*. In: Landslides (Bell, D.H. Ed.), Rotterdam: A.A. Balkema, Vol. 2, pp. 989–994.
- Keefer, D.K., Wilson, R.C., Mark, R.K., Brabb, E.E., Brown, W.M., Ellen, S.D., Harp, E.L., Wieczorek, G.F., Alger, C.S. and Zatkin, R.S., 1987. *Real time landslide warning system during heavy rainfall*. Science 238, 921–925.
- Larsen, M.C. and Simon, A., 1993. *A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment*, Puerto Rico, Geografiska Annaler, Vol. 75, pp. 13–23.
- Li, T. and Wang, S., 1992. *Landslide hazards and their mitigation in China*, Science Press, Beijing, pp.84.
- Montgomery, D.R. and Dietrich, W.E., 1994. *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*, Water Resources Research, Vol. 30, pp. 1153–1171.
- Onodera, T., Yoshinaka, R. and Kazama, H., 1974. *Slope failures caused by heavy rainfall in Japan*. Proc. of the II International Congress International Association of Engineering Geology, Sao Paulo, Brasil, vol. 11, pp. 1 – 10.
- Premchitt, J., 1997. *Warning system based on 24 hour rainfall in Hong Kong*. Manual for zonation on areas susceptible to raininduced slope failure. Asian Technical Committee on Geotechnology for Natural Hazards in International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 72–81.
- Rahardjo, H., Li, X.W., Toll, D.G. and Leong, E.C., 2001. *The effect of antecedent rainfall on slope stability*, Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 19, pp.371–399.
- Sirangelo, B. and Braca, G., 2001. *L'individuazione delle condizioni di pericolo di innesco delle colate rapide di fango*. Applicazione del modello Flair al caso di Sarno. Atti del Convegno: "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive", Roma.
- Sukamto, R. dan S. Supriatna (1982): *Peta geologi Ujung Pandang, Bantaeng dan Sinjai, Sulawesi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Indonesia.
- Terlien, M.T.J., 1998. *The determination of statistical and deterministic hydrological landslide - triggering thresholds*, Environmental Geology, Vol. 35, pp. 124–130.
- Wieczorek, G.F., 1987. *Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California*, In: Crosta, G., Wieczorek, G.F. (Eds.), Debris Flows / Avalanches: Processes, Recognition and Mitigation, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, Vol. 7, pp. 93–104.
- Wieczorek, G.F., Morgan, B.A. and Campbell, R.H., 2000. *Debris flow hazards in the Blue Ridge of Central Virginia*, Environmental and Engineering Geoscience, Vol. 6, pp.3–23.
- Wieczorek, G.F., Guzzetti, F., 1999. *A review of rainfall thresholds for triggering landslides*. Proc. of the EGS Plinius Conference, Maratea, Italy October 1999, pp. 407–414.
- Wilson, R.C. and Wieczorek, G.F., 1995. *Rainfall thresholds for the initiation of debris flow at La Honda, California*. Environmental and Engineering Geoscience 1 (1), 11 – 27.

- Wilson, R.C., Mark, R.K., Barbato, G.E., 1992. *Operation of realtime warning system for debris flows in the San Francisco Bay area, California.* In: Shen, H.W., Wen, F. (Eds.), *Hydraulic Engineering '93. Proceedings of the 1993 Conference, Hydraulics Division, 1993, vol. 2.* American Society of Civil Engineers, San Francisco, CA, pp. 1908– 1913.
- Yano, K., 1990. *Studies on deciding rainfall threshold from warning and evacuating from debris flow disaster by improving the decision method of preceding rainfall.* Journal of Japan Erosion Control Society, Vol. 43, No.4, pp. 3–13 (in Japanese).
- Yatabe, R., Yagi, N. and Enoki, M., 1986. *Prediction of slope failure based on the amount of rainfall,* Japanese Society of Civil Engineers, Vol. 376, pp. 297–305 (in Japanese).