

INTENSITAS CURAH HUJAN MEMICU TANAH LONGSOR DANGKAL DI SULAWESI SELATAN

(Rainfall intensity induced shallow landslides in South Sulawesi)

Oleh/By :

Hasnawir

Balai Penelitian Kehutanan Makassar
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 16 Makassar (90243), Sulawesi Selatan
Tel: 0411-554049, Fax:0411-554058; Email:wirforest@yahoo.com

ABSTRACT

The rainfall induced landslides including shallow landslides have resulted in substantial property damage as well as loss of human lives. In recent years, the South Sulawesi province has been affected by numerous shallow landslide phenomena caused by particularly intense rains. The main objective of this study was to analyze the shallow landslides caused by intense rain that took place between 3rd and 4th May 2011 in the province of South Sulawesi and to determine rainfall thresholds for shallow landslides warning. The findings showed that rainfall intensity over 50 mm/hr might cause shallow landslides that could cause damage to property including loss of human lives. The threshold, as defined by the lower boundary of the points representing shallow landslides-triggering rainfall events, is expressed as $I=52D^{0.79}$. The threshold rainfall for shallow landslides could be very important information to develop the warning system in the study area.

Keywords: *Shallow landslides, rainfall thresholds, warning system*

ABSTRAK

Curah hujan memicu tanah longsor termasuk tanah longsor dangkal telah mengakibatkan kerusakan sejumlah harta benda termasuk mengakibatkan korban jiwa manusia. Dalam beberapa tahun terakhir ini, Provinsi Sulawesi Selatan telah dipengaruhi oleh berbagai fenomena tanah longsor dangkal terutama disebabkan oleh hujan ekstrim. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tanah longsor dangkal yang disebabkan oleh hujan lebat pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011 di provinsi Sulawesi Selatan dan untuk menentukan ambang batas curah hujan untuk peringatan tanah longsor dangkal. Studi ini menunjukkan bahwa intensitas curah hujan di atas 50 mm/jam dapat menyebabkan tanah longsor dangkal yang menyebabkan kerusakan harta benda termasuk menghilangkan nyawa manusia. Ambang batas, seperti yang didefinisikan sebagai batas bawah dari titik-titik yang mewakili tanah longsor dangkal dipicu peristiwa curah hujan, dinyatakan sebagai $I = 52D^{0.79}$. Ambang batas curah hujan untuk tanah longsor dangkal dapat menjadi informasi yang sangat penting untuk pengembangan sistem peringatan di daerah penelitian.

Kata kunci: *Tanah longsor dangkal, ambang batas curah hujan, sistem peringatan*

I. PENDAHULUAN

Indonesia sangat rentan terhadap bahaya iklim dan frekuensi bencana semakin meningkat. Dalam dekade terakhir ini, sekitar 5,8 juta orang di Indonesia terkena dampak berbagai bencana iklim. Di Sulawesi Selatan, jumlah kejadian tanah longsor mengalami peningkatan dalam lima tahun terakhir akibat kenaikan intensitas curah

hujan. Pengaruh curah hujan dalam mengasikkan tanah longsor adalah sesuatu yang jelas, meskipun sangat sulit untuk menjelaskan secara tepat (*Blong dan Dunkerley, 1976*). Kesulitan ini muncul karena curah hujan hanya mempengaruhi stabilitas lereng secara tidak langsung terhadap kondisi air-pori di dalam material pembentuk lereng. Kemudian Caine (1980) menggunakan istilah "pengaruh memicu" curah hujan terhadap tanah longsor.

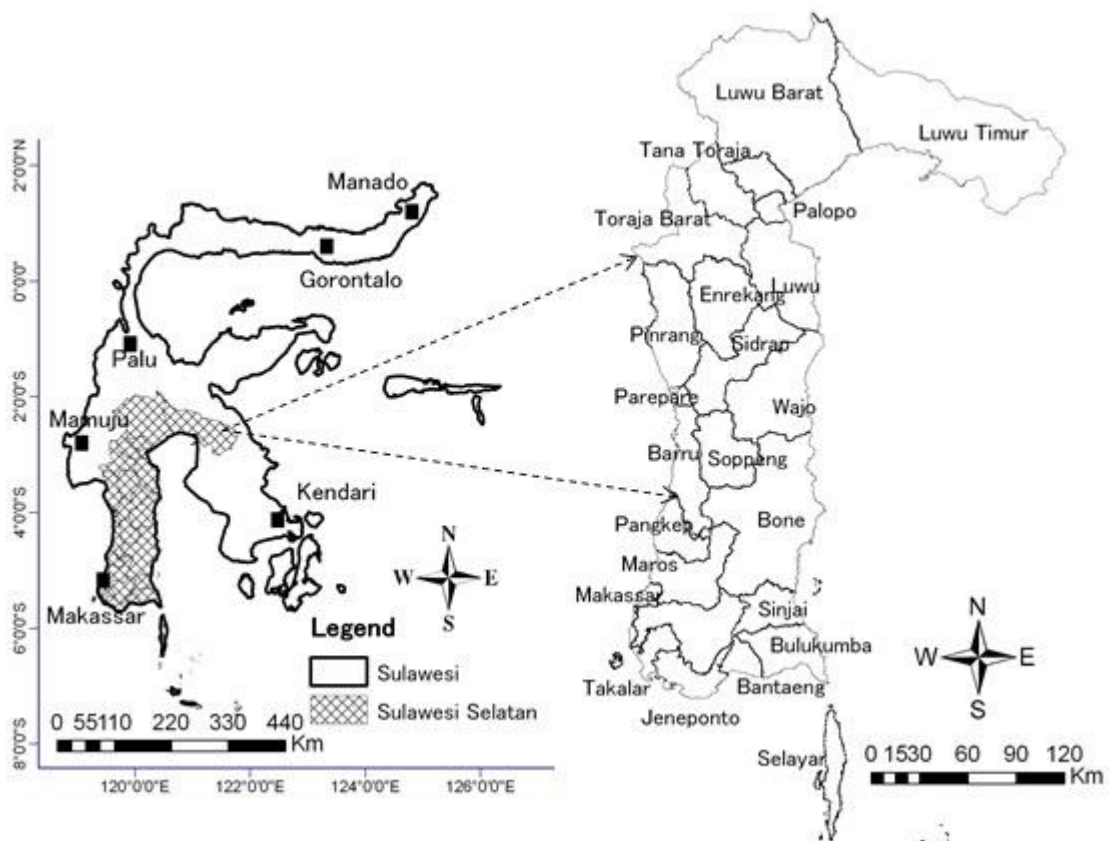
Karakterisasi curah hujan yang memicu tanah longsor telah digunakan untuk membangun hubungan antara curah hujan dan tanah longsor di berbagai belahan dunia termasuk tanah longsor dangkal. Parameter curah hujan paling sering diselidiki dalam kaitannya dengan inisiasi tanah longsor meliputi curah hujan kumulatif, curah hujan sebelumnya, intensitas curah hujan, dan durasi curah hujan. Upaya-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 dan Ellen, 1985; Kim et al., 1991; Wilson et al., 1992; Larsen dan Simon, 1993; Wilson dan Wieczorek, 1995; Terlien, 1998; Crosta, 1998; Crozier, 1999; Glade et al., 2000; Wieczorek et al., 2000; Aleotti, 2004; Guzzetti et al., 2004*) 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 sebelumnya dengan curah hujan rata-rata tahunan, dan curah hujan harian dengan maksimum rasio curah hujan sebelumnya. Caine (1980) pertama kali menilai ambang batas curah hujan di seluruh dunia untuk tanah longsor. Nilai ambang batas serupa telah diusulkan untuk California (*Cannon dan Ellen, 1985; Wieczorek et al., 2000*), Eropa Selatan Alpen (*Cancelli dan 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 (*Yatabe et al., 1986; Yano, 1990; Hiura et al., 2005*), Puerto Rico (*Larsen dan Simon, 1993*) dan Himalaya, Nepal (*Dahal dan Hasegawa, 2008*).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tanah longsor dangkal oleh curah hujan ekstrim yang berlangsung pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011

di Provinsi Sulawesi Selatan dan untuk menentukan ambang batas curah hujan untuk peringatan tanah longsor dangkal.

II. LOKASI PENELITIAN

Provinsi Sulawesi Selatan terletak di semenanjung selatan barat pulau Sulawesi, antara $0^{\circ} 12'$ dan $8^{\circ} 0'$ Lintang Selatan dan antara $116^{\circ} 48'$ dan $122^{\circ} 36'$ Bujur Timur (Gambar 1). Luas total Provinsi Sulawesi Selatan sekitar 46.717 km^2 yang terbagi dalam 24 kabupaten/kota dengan jumlah penduduk 8.032.551 jiwa pada tahun 2010. Secara umum, konfigurasi daerah Sulawesi Selatan terbagi antara daerah datar ke daerah yang curam. Ada dua musim yang berbeda yaitu musim kemarau dan musim hujan. Rata-rata curah hujan tahunan terdistribusi antara 1.049 mm/tahun sampai 4.307 mm/ tahun dengan rata-rata suhu 17°C sampai 33°C .

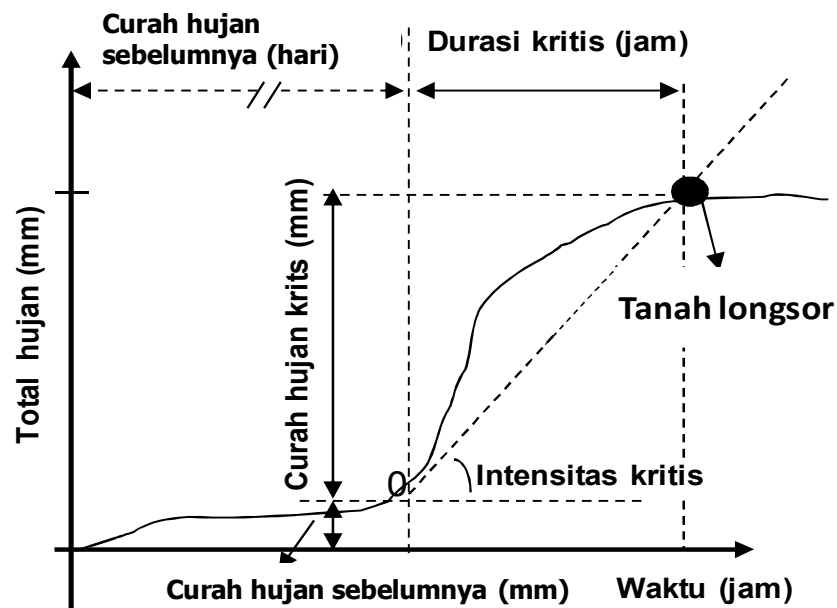


Gambar 1. Lokasi Penelitian di Sulawesi Selatan.
Figure. 1 Study area in South Sulawesi.

III. METODE PENELITIAN

Raster berbasis GIS diaplikasikan untuk menganalisis tanah longsor dangkal akibat curah hujan ekstrim yang berlangsung pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011 di Provinsi Sulawesi Selatan. Beberapa parameter peta digunakan untuk analisis ini antara lain: peta geologi, tanah, curah hujan, dan elevasi.

Sedangkan untuk menentukan ambang batas curah hujan untuk tanah longsor dangkal, penelitian ini menggunakan ambang batas empiris (*empirical thresholds*). Data curah hujan dan tanah longsor dangkal dikumpulkan dari Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Sulawesi Selatan dan penduduk lokal. Regresi untuk ambang curah hujan diperoleh dari hubungan antara intensitas curah hujan (I , mm / jam) dan durasi curah hujan (D , jam). Secara umum, ada dua jenis ambang batas curah hujan yaitu; ambang batas empiris (*empirical thresholds*) dan ambang batas fisik (*physical thresholds*). Ambang batas empiris adalah nilai relasional berdasarkan analisis statistik hubungan antara kejadian hujan dan tanah longsor (*Campbell, 1975; Caine, 1980; Larsen dan 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 dan Dietrich, 1994; Crosta, 1998; Terlien, 1998; Crosta dan Frattini, 2001; Jakob dan Weatherly, 2003*). Curah hujan sebelumnya (*Crozier, 1999; Rahardjo et al., 2001*) juga memainkan peranan penting dalam penentuan ambang batas curah hujan. Hubungan parameter curah hujan dengan tanah longsor dapat di lihat pada Gambar 2 di bawah ini. Gambar 2 ini menjelaskan secara sederhana proses terjadinya tanah longsor di mana curah hujan kritis menunjukkan jumlah curah hujan dari waktu ("titik nol") akan meningkat tajam dalam intensitas curah hujan yang diamati memicu tanah longsor.



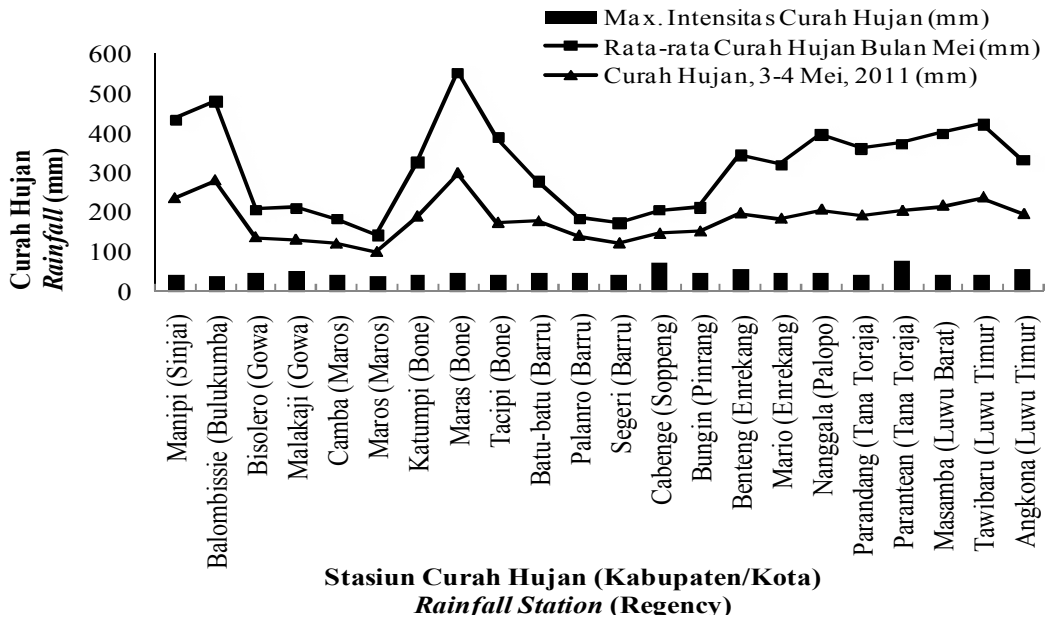
Gambar 2. Curah hujan parameter dalam hubungannya dengan inisiasi tanah longsor meliputi curah hujan kumulatif, curah hujan sebelumnya, intensitas curah hujan, dan durasi curah hujan (Aleotti, 2004).

Figure 2. Rainfall parameters in relation to landslide initiation include cumulative rainfall, antecedent rainfall, rainfall intensity, and rainfall duration (Aleotti, 2004).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penilaian Tanah Longsor Dangkal

Pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011, curah hujan dengan intensitas tinggi melanda 13 kabupaten di Provinsi Sulawesi Selatan. Curah hujan yang pendek dengan intensitas tinggi ini memicu sekitar 40 tanah longsor dangkal yang tersebar di 13 kabupaten tersebut. Stasiun pengamatan hujan yang terletak antara 2 kilometer sampai 5 kilometer dari daerah tanah longsor dangkal, menunjukkan bahwa curah hujan antara 101 sampai 298 mm terjadi hanya dalam 2 hari dengan intensitas curah hujan maksimum berkisar antara 41 mm/jam hingga 79 mm/jam. Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan di atas 50 mm per jam menyebabkan tanah longsor dangkal di daerah ini. Kejadian tanah longsor dangkal ini telah menyebabkan gangguan dan kerusakan di sepanjang jaringan transportasi, terutama di Kabupaten Gowa, Bone, Palopo, Luwu Utara dan Luwu Timur. Tanah longsor dangkal mengakibatkan 2 korban jiwa dan beberapa orang yang terluka. Dapat diamati pula bahwa curah hujan rata-rata pada Bulan Mei menunjukkan curah hujan sebesar 314 mm dan hanya dalam 2 hari hujan yakni pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011 total curah hujan mencapai 184 mm atau mencapai 61% dari curah hujan rata-rata Bulan Mei (Gambar 3).



Gambar 3. Intensitas curah hujan pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011 memicu tanah longsor dangkal di Sulawesi Selatan.

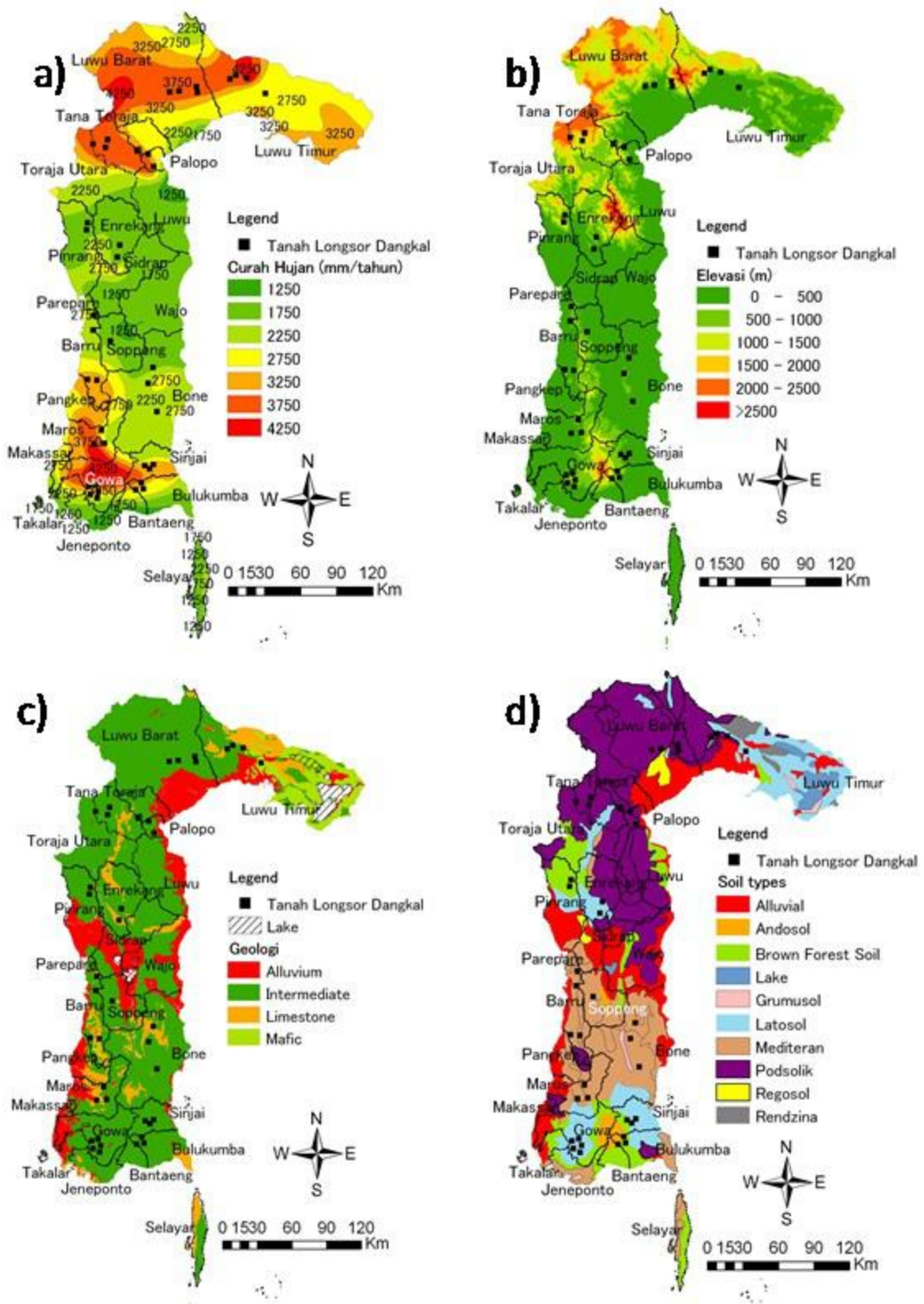
Figure 3. Intensity of rainfall on 3rd to 4th May 2011 induced shallow landslides in South Sulawesi.

Selain itu, tingginya intensitas curah hujan pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011, telah menyebabkan banjir di beberapa tempat di daerah tersebut. Kejadian tanah longsor dangkal menyebabkan kerusakan beberapa jaringan transportasi di Sulawesi Selatan dan distribusi tanah longsor dangkal dengan kondisi curah hujan, elevasi, jenis tanah dan kondisi geologi dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Tanah longsor dangkal merusak beberapa jaringan transportasi di Sulawesi Selatan.

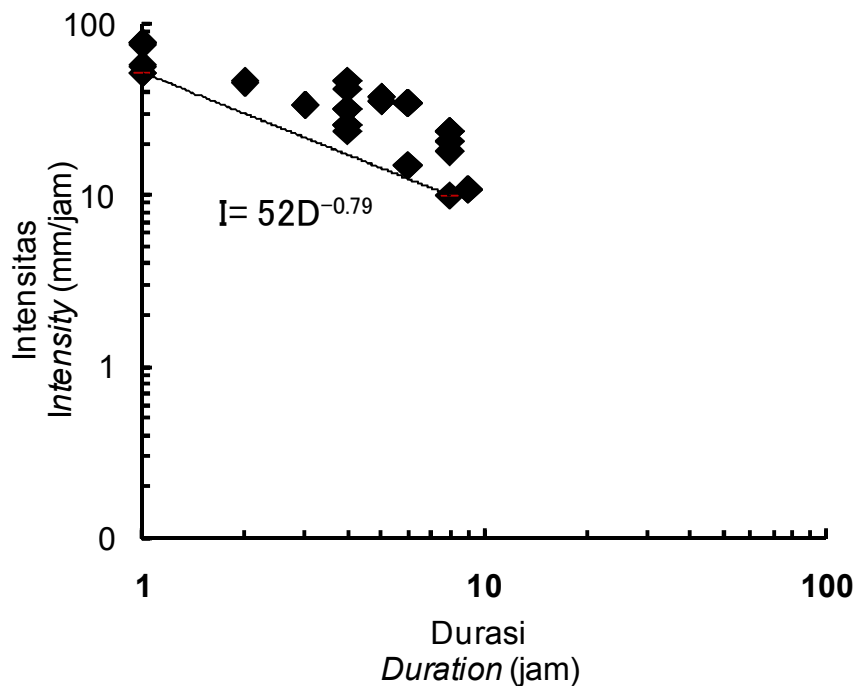
Figure 4. The shallow landslides caused several disruptions on the transportation network in South Sulawesi.



Gambar 5. Distribusi tanah longsor dangkal, kondisi curah hujan, elevasi, geologi dan tipe tanah di Sulawesi Selatan.
 Figure 5. Distribution of shallow landslides, rainfall conditions, elevation, geology, and soil types in South Sulawesi.

B. Ambang batas curah hujan

Intensitas curah hujan yang tinggi memicu sejumlah 40 tanah longsor dangkal di Provinsi Sulawesi Selatan. Peristiwa tersebut dianalisis untuk menentukan ambang batas curah hujan peringatan tanah longsor dangkal. Nilai regresi intensitas-durasi curah hujan adalah $I=52D^{-0.79}$ (I adalah intensitas curah hujan dalam mm/jam dan D adalah durasi curah hujan dalam jam). Hasil 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 dangkal mungkin terjadi. Ambang batas curah hujan dan intensitas-durasi hujan pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011 ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel 1.



Gambar 6. Kurva ambang batas intensitas-durasi curah hujan untuk tanah longsor dangkal di Sulawesi Selatan.

Figure 6. Rainfall intensity–duration thresholds curve for shallow landslides in South Sulawesi.

Tabel 1. Durasi-intensitas curah hujan di 13 Kabupaten di Sulawesi Selatan dari tanggal 3 sampai 4 Mei 2011.

Table 1. Rainfall duration- intensity in 13 regencies in South Sulawesi from 3 to 4 of Mei 2011.

No	Durasi <i>Duration (mm)</i>	Intensitas <i>Intensity (mm/jam)</i>	No	Durasi <i>Duration (mm)</i>	Intensitas <i>Intensity (mm/jam)</i>
1	8	24	21	6	15
2	8	24	22	1	76
3	8	24	23	3	34
4	6	35	24	3	34
5	6	35	25	1	58
6	6	35	26	8	18
7	4	26	27	8	21
8	4	26	28	4	42
9	4	26	29	4	32
10	1	52	30	4	32
11	1	52	31	1	79
12	9	11	32	1	79
13	9	11	33	5	38
14	8	10	34	5	38
15	4	32	35	5	38
16	4	47	36	4	47
17	2	46	37	5	36
18	2	47	38	5	36
19	4	24	39	5	36
20	6	15	40	1	56

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 dan 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 dan Ellen, 1985*).

Sistem serupa juga dikembangkan di Hong Kong (*Brand et al., 1984.*), Italia (*Sirangelo dan Braca, 2001*), Jepang (*Onodera et al., 1974*), Selandia Baru (*Crozier, 1999*), Afrika Selatan (*Gardland dan Olivier, 1993*) and Virginia (*Wieczorek dan 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.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa durasi hujan pendek dengan intensitas curah hujan tinggi memicu sekitar 40 tanah longsor dangkal di Provinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 3 sampai 4 Mei 2011. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa intensitas curah hujan di atas 50 mm/jam dapat menyebabkan tanah longsor dangkal yang dapat mengakibatkan kerusakan harta benda dan kehilangan nyawa manusia. Ambang batas curah hujan seperti didefinisikan sebagai batas bawah dari titik-titik yang mewakili tanah longsor dangkal dipicu oleh peristiwa curah hujan, dinyatakan sebagai $I = 52D^{-0,79}$. Pengembangan sistem peringatan harus memiliki prioritas untuk daerah rawan tanah longsor dangkal di Provinsi Sulawesi Selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aleotti, P., 2004. A warning system of rainfall-induced shallow failure, *Engineering Geology*, Vol. 73, pp. 247–265.
- Blong, R.J. and Dunkerley, 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. 131–145.
- 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.
- 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 Zatzkin, 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.
- 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., 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., and 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).