

**PENGEMBANGAN MODEL PERSAMAAN EMPIRIS DALAM
MEMPREDIKSI TERJADINYA LONGSOR DI DAERAH
ALIRAN SUNGAI (DAS) CITARUM (JAWA BARAT)
BERBASIS DATA SATELIT TRMM
[DEVELOPMENT OF EMPIRICAL EQUATION MODEL IN
PREDICTING THE OCCURRENCE OF LANDSLIDE AT WATERSHED
OF CITARUM (WEST JAVA) BASED ON THE
TRMM SATELLITE DATA]**

Sinta Berliana Sipayung¹, Nani Chollanawati, Indah Susanti, Soni Aulia R. dan Edy Maryadi

Peneliti Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lapan

¹e-mail: s_berlianasipayung@yahoo.com

Diterima 22 Juli 2014; Disetujui 26 September 2014

ABSTRACT

Indonesia is one of disasters country, such as landslides which generally occurs during the wet season due to the heavy rainfall that occurring continuously. Studies of landslides have been carried out, but generally based on the observational data (*in-situ rain gauge*). One of the short comings of the studies result is not well known the potential of landslides itself, especially in Watershed (DAS) area. In this research, the analysis of the potential for the occurrence of landslides in the Citarum Watershed (West Java) based on the TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) satellite data for period of 2000 to 2009 with the daily resolution data. To determine the potential for landslides in that watershed, it was built an empirical equation $P_0 = f(P_1, P_2)$ with P_1 and P_2 is the amount of rainfall (in mm) for 3 days before the landslide, and 15 days before its final to the P_1 . The empirical equations used to predict the potential for landslides in Citarum due to rainfall and vulnerability maps. Obtained empirical equation has been tested at several locations in Citarum Watershed with good results. This empirical equation can be used as an early warning system of potential landslides Citarum by category of medium, high and very high, respectively.

Keywords: *Rainfall, landslides, Citarum watershed, Empirical equation, and TRMM*

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap bencana kebumihan termasuk bencana longsor yang umumnya terjadi selama musim basah akibat hujan lebat yang terjadi terus-menerus. Kajian tentang longsor yang telah banyak dilakukan namun umumnya berbasis data observasi (*in-situ rain gauge*). Salah satu kekurangan dari hasil-hasil penelitian tersebut adalah tidak diketahuinya potensi terjadinya longsor, khususnya di Daerah Aliran Sungai (DAS). Dalam penelitian ini dilakukan analisis potensi terjadinya longsor di kawasan DAS Citarum (Jawa Barat) berbasis data satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) periode 2000-2009 dengan resolusi pengamatan harian. Untuk mengetahui potensi terjadinya longsor di DAS tersebut, maka dibangunlah satu persamaan empiris $P_0 = f(P_1, P_2)$ dengan P_1 dan P_2 adalah jumlah curah hujan (dalam mm) selama 3 hari sebelum longsor dan 15 hari terakhir sebelum P_1 . Persamaan empiris tersebut digunakan untuk prediksi potensi terjadinya longsor di DAS Citarum akibat curah hujan dan peta kerentanan. Persamaan empiris yang diperoleh telah diuji di beberapa lokasi di DAS Citarum dengan hasil yang baik.

Persamaan empiris ini dapat digunakan sebagai sistem peringatan dini potensi terjadinya longsor DAS Citarum dengan kategori sedang, tinggi dan sangat tinggi.

Kata Kunci: *Hujan, Longsor, DAS Citarum, Persamaan empiris, dan TRMM*

1 PENDAHULUAN

Longsor adalah erosi volume tanah yang besar dan proses gerakan tanah yang dipengaruhi oleh parameter penggunaan lahan, kemiringan lereng, ketebalan lapisan tanah, jenis tanah dan efektif tanah (Van Zuaidam, 1983). Sementara Wahyunto dkk. (2001) menyatakan bahwa kemiringan lereng topografi, curah hujan, sifat litologi, dan jenis penggunaan lahan memicu terjadinya tanah longsor. Karnawati (2002) dalam Draharjo (2010) menyatakan bahwa faktor penyebab gerakan tanah (longsor) dibedakan menjadi dua, yaitu faktor pengontrol dan faktor pemicu. Faktor pengontrol gerakan tanah adalah faktor yang mengkondisikan suatu lereng menjadi berpotensi untuk longsor. Faktor pemicu gerakan tanah adalah faktor yang menyebabkan proses alamiah ataupun non alamiah yang mendukung kondisi lereng dari tanah yang berpotensi bergerak menjadi tanah yang benar-benar longsor. Faktor pemicu tanah longsor meliputi curah hujan, erosi sungai, gempa bumi, dan aktivitas manusia.

Perubahan penutupan lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) memberikan pengaruh cukup dominan terhadap debit limpasan (*run off*). Fenomena-fenomena ini sering terjadi pada setiap DAS baik di bagian hulu maupun bagian hilir akibat tekanan jumlah penduduk. Bentuk tata guna lahan yang paling berpengaruh terhadap debit limpasan adalah lahan sawah, pemukiman dan tegalan. Jenis lahan seperti ini dapat menimbulkan banjir, tanah longsor dan kekeringan. Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia pada umumnya telah banyak mengalami kerusakan dan semakin hari kondisinya semakin memprihatinkan. Kerusakan DAS dapat diindikasikan dengan meningkatnya kejadian bencana tanah longsor, banjir, dan kekeringan dari tahun ke tahun. Tindakan konservasi dan perbaikan DAS di Indonesia diprioritaskan pada 22 DAS kritis pada skala Super Prioritas, salah satunya adalah DAS Citarum (Arsyad, 1989). Pengelolaan dan perbaikan DAS Citarum seharusnya mudah, hal ini dikarenakan aliran sungai Citarum hanya melintasi 8 Kabupaten yang seluruhnya berada di Provinsi Jawa Barat, sehingga pengelolaan DAS Citarum bisa diselesaikan pada tingkat Provinsi. Untuk menghindari kerentanan banjir dan longsor seharusnya dilakukan pengelolaan lingkungan di DAS Citarum (Paimin dkk., 2009).

Pengembangan prediksi potensi terjadinya longsor, diharapkan dapat mendeteksi gejala-gejala alamiah yang muncul berkaitan dengan bahaya tanah longsor sedini mungkin untuk meminimalkan jatuhnya korban jiwa. Takara dkk. (2009) menggunakan model hidrologi dan kemiringan lereng untuk memperoleh sistem peringatan dini longsor. Berbeda dengan Takara dkk. (2009) peneliti lainnya seperti Hong dkk. (2006), Adler dkk. (2006), dan Caine (1980), menggunakan metode statistik berbasis intensitas dan durasi curah hujan, karena hujan dianggap sebagai pemicu longsor.

Dengan menggunakan data satelit TMPA (NASA *TRMM based Multi-satellite Precipitation Analysis*) near real time, (Cholianawati dkk., 2012) menggabungkan estimasi curah hujan dari beberapa satelit untuk membuat estimasi potensi terjadinya longsor di daerah Gunung Halu dan Sukaresmi. Sedangkan Rahayu dkk., (2012) melakukan integrasi frekuensi kejadian longsor berdasarkan kejadian dan akumulasi curah hujan dari *rain gauge (in-situ)* dengan asumsi bahwa kondisi penggunaan lahan tidak berubah (*statis*) pada beberapa sampel kecamatan di DAS Citarum diantaranya Kertasari, Lembang, Pengalengan, Darangdan dan Batujajar. Rahayu dkk., (2012) menunjukkan bahwa intensitas curah hujan yang tinggi menyebabkan terjadinya longsor di daerah tersebut.

Pada makalah ini pengintegrasian perhitungan nilai ambang batas curah hujan terhadap peta kerentanan longsor akan dikembangkan sebagai prediksi potensi longsor dan beberapa lokasi dipakai sebagai pengujian. Tujuan dari makalah ini adalah mengembangkan model persamaan empiris untuk memprediksi potensi terjadinya longsor di DAS Citarum (Jawa Barat) dengan memanfaatkan data satelit *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM).

2 DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengukuran curah hujan harian (dalam satuan mm) adalah produk satelit TRMM 3B42 dari tahun 2000 hingga 2009. Data ini mempunyai resolusi spasial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ atau setara dengan $27,5 \times 27,5 \text{ km}^2$ dan resolusi temporal 3 jam dan diunduh dari situs <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3B42RT/daily>, dalam format biner. Data curah hujan yang diunduh dipilih menjadi data pelatihan yang dipakai sebagai masukan untuk memperoleh nilai ambang batas curah hujan. Data kejadian longsor dari tahun 2011 hingga 2014 dipakai sebagai pengujian. Penentuan ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan longsor dilakukan berdasarkan Chleborad dkk. (2006), dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_0 = P_1 - (-aP_2 + b) \quad (2-1)$$

Keterangan:

P_0 = indeks potensi terjadi longsor

P_1 = curah hujan kumulatif 72 jam (3 hari)

P_2 = curah hujan kumulatif 15 hari sebelum 72 jam kejadian

a dan b = konstanta yang diperoleh dari persamaan linier dengan memasukkan nilai $P_0 = 0$ sehingga $P_1 = -aP_2 + b$ terhadap data hujan (data pelatihan) saat terjadi longsor selama periode penelitian

Jika $P_0 > 0$, maka ada potensi longsor dan jika $P_0 < 0$, maka tidak ada potensi longsor.

Data kumulatif 3 hari dipilih berdasarkan tanah longsor banyak yang dipicu oleh intensitas curah hujan dari 72 jam atau kurang (USACE, 1997). Data kumulatif 15 hari digunakan karena menghasilkan nilai ambang batas relatif rendah terikat inisiasi tanah longsor (Chleborad, 2000). Karena nilai ambang batas hujan didefinisikan secara empirik, maka persamaan-persamaannya bervariasi dari satu lokasi ke lokasi yang lain. Keunggulan utama yang dimiliki oleh batasan empirik hujan untuk memprediksi potensi terjadinya tanah longsor adalah sederhana dan tidak mahal ketika akan memprediksi wilayah yang cukup luas.

DAS Citarum terletak di Jawa Barat pada posisi geografis $106^\circ 51' 36'' - 107^\circ 51' \text{ BT}$ dan $7^\circ 19' - 6^\circ 24' \text{ LS}$. Informasi tentang kejadian longsor di kawasan DAS tahun 2000 – 2009 diperoleh dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Propinsi Jawa Barat. Sepanjang periode tersebut, terdapat 93 kejadian longsor yang berkaitan erat dengan tingginya curah hujan. Data yang digunakan disesuaikan dengan kejadian longsor yang terbanyak sehingga diperoleh nilai P_1 dan P_2 untuk setiap kejadian longsor selama tahun 2000 – 2009 tersebut. Data pengujian diterapkan di beberapa lokasi sebanyak lima sampel sebagai masukan untuk menguji formula nilai ambang batas curah hujan (persamaan 2-1).

Setelah diperoleh nilai ambang batas curah hujan yang menyebabkan terjadinya longsor, kemudian penentuan prediksi potensi terjadi longsor diperoleh berdasarkan dari nilai indeks ambang batas curah hujan. Formula tersebut diuji untuk memprediksi potensi kejadian longsor di Kutawaringin (Soreang) Kabupaten Bandung dan Cihideung (Parongpong) Kabupaten Bandung Barat pada tanggal 12

April 2012, sehingga data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan pada tanggal 23 Maret – 12 April 2012.

Nilai indeks ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan longsor, sangat tergantung pada kondisi setempat, dalam hal ini tingkat kerentanan daerah yang bersangkutan. Tingkat curah hujan yang sama di daerah yang berbeda akan memberikan pengaruh potensi longsor yang lebih besar di daerah yang memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi. Dengan demikian, persamaan (2-1) perlu diterapkan untuk masing-masing tingkat kerentanan. Teknik pembobotan (*scoring*) digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan berdasarkan data kelerengan, kondisi geologi, kedalaman kedap air, dan penggunaan lahan. Data tersebut diperoleh dari Balai Pengelolaan DAS Citarum.

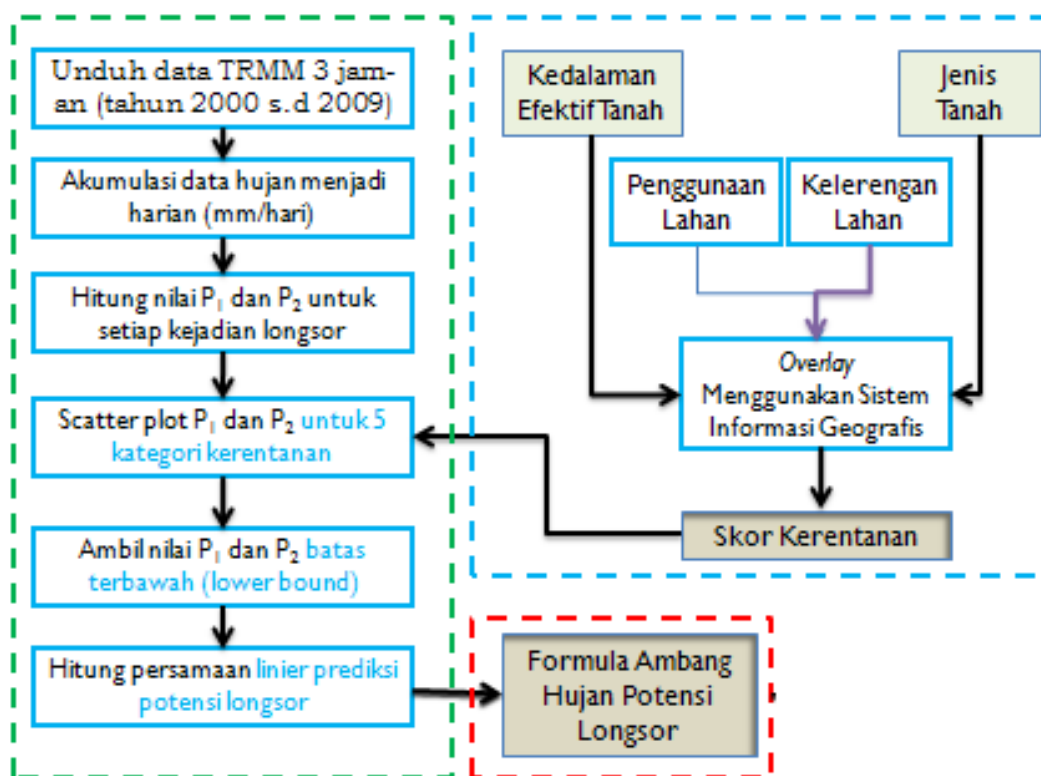
Pembobotan tersebut dilakukan dengan menggunakan sistem informasi geografis yang merujuk pada formula dalam Tabel 2-1. Formula dalam Tabel 2-1 merupakan penyesuaian dari formula yang disusun oleh Paimin (2009) dengan data yang tersedia untuk menentukan kerentanan tanah longsor. Untuk kategori penggunaan lahan, tingkat kerentanan sebanding dengan skor total parameter-parameter yang digunakan (merujuk pada kriteria dari Badan Pengelola DAS Citarum). Semakin tinggi skor total parameternya, maka tingkat kerentanannya semakin tinggi pula.

Tabel 2-1: FORMULA KERENTANAN TANAH LONGSOR

No.	Parameter	Klasifikasi	Kategori	Skor
1	Kelerengan (%)	< 25%	Rendah	1
		25 – 44	Agak rendah	2
		45-64	Sedang	3
		65-85	Agak tinggi	4
		>85	Tinggi	5
2	Kedalaman efektif tanah	< 1	Rendah	1
		1 – 2	Agak rendah	2
		2 – 3	Sedang	3
		3-5	Agak tinggi	4
		> 5	Tinggi	5
3	Penggunaan lahan	Hutan lindung, hutan bakau	Rendah	1
		Hutan bertanah kering, ladang terbuka	Agak rendah	2
		Rawa, badan air, tembok penahan air	Sedang	3
		Sawah, perkebunan, pertanian campuran	Agak tinggi	4
		Pemukiman, bandara	Tinggi	5
4	Jenis tanah	Aluvial dan ass glei humus	Rendah	1
		Litosol	Agak rendah	2
		Grumusol, regosol	Sedang	3
		Andosol	Agak tinggi	4
		Latosol, podsolik	Tinggi	5

Dengan menggunakan perangkat lunak *ArcView* (*Geographic Information System*, GIS) *overlay* dilakukan terhadap peta kedalaman efektif tanah, jenis tanah, kelerengan

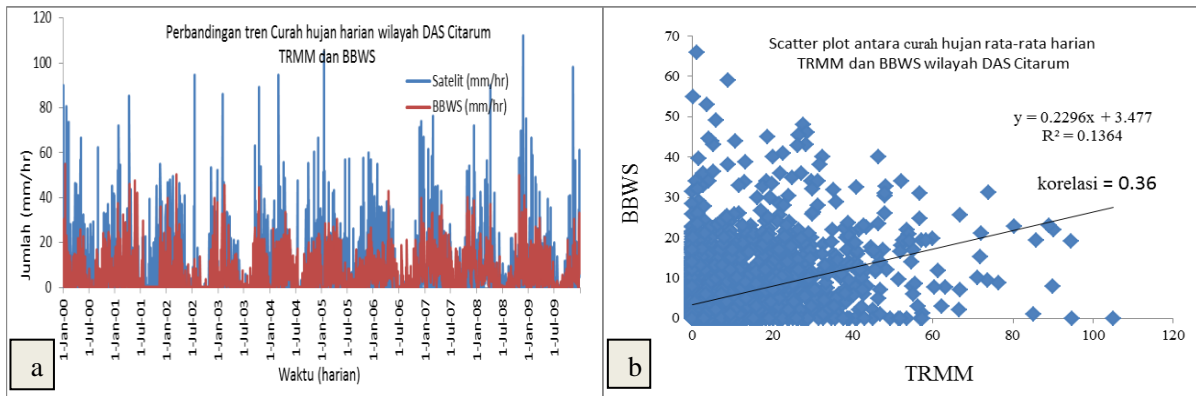
lahan, dan penggunaan lahan. Dengan demikian peta kerentanan potensi longsor akan diperoleh dan terbagi dalam 5 (lima) skor kerentanan (Paimin dkk., 2009), yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Peta tersebut di-*overlay* terhadap peta administrasi desa yang termasuk dalam kawasan DAS Citarum sehingga setiap wilayah (desa) yang pernah mengalami kejadian longsor mendapatkan skor kerentanannya. Nilai P_1 dan P_2 dari 93 kejadian longsor dikelompokkan berdasarkan kategori kerentanan, dan nilai tersebut digambarkan dalam diagram pencar. Batas terbawah dari nilai P_1 dan P_2 untuk setiap kategori kerentanan dihitung persamaan liniernya untuk memperoleh nilai a dan b sehingga dihasilkan sebuah model persamaan empiris prediksi potensi longsor (persamaan 2-1) untuk setiap kategori kerentanan. Model tersebut diaplikasikan dengan mengakumulasi hujan TRMM 3 jam-an menjadi harian kemudian kembali dihitung P_1 dan P_2 . Apabila P_0 bernilai lebih dari nol maka diprediksi terjadi longsor, sementara jika nilai P_0 kurang dari nol maka diprediksi tidak terjadi longsor. Tahapan-tahapan tersebut diringkas pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Tahapan penentuan formula ambang hujan potensi longsor

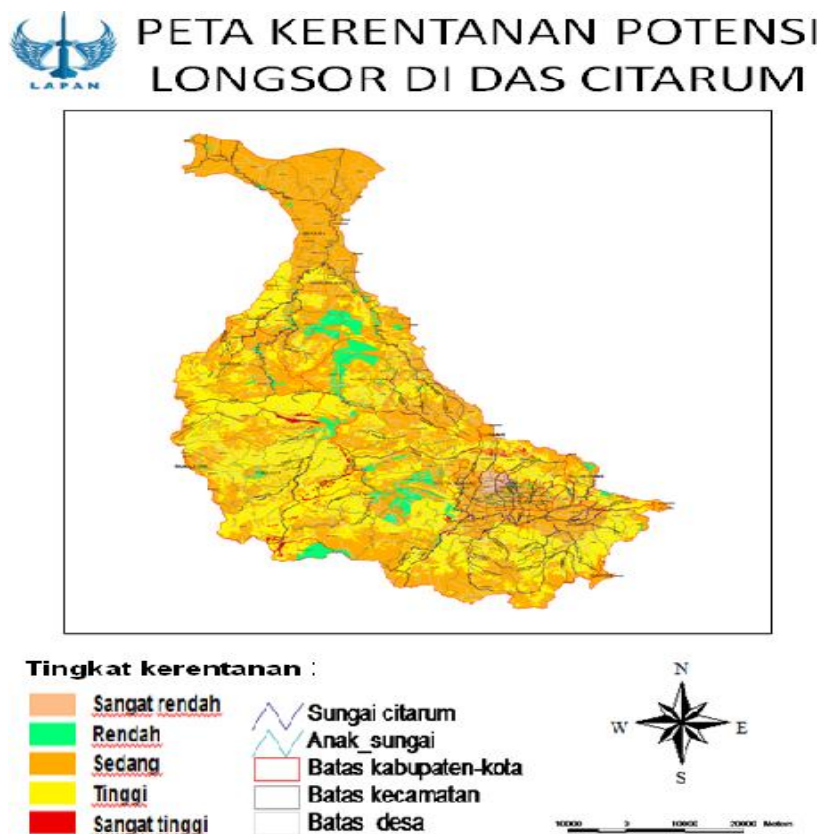
3 HASIL

Berdasarkan data pada Gambar 3-1a, pola curah hujan rata-rata harian antara satelit TRMM (mm/hari) dan data curah hujan observasi *rain gauge* (mm/hari) dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) dari tahun 2000 hingga 2009, secara temporal memiliki fluktuasi yang sama dengan pola *monsoon*. Tren curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari setiap tahunnya (112 mm/hari) dan terendah sepanjang bulan Juni dan Agustus setiap tahunnya yang pada umumnya memiliki curah hujan rendah mulai pada bulan Mei hingga Oktober. Nilai curah hujan data satelit TRMM lebih tinggi dari pada curah hujan observasi *rain gauge*. Berdasarkan sebaran curah hujan rata-rata harian (Gambar 3-2b), koefisien korelasi (r) antara data satelit TRMM dan data curah hujan *rain gauge* adalah sebesar 0,36. Hal ini menunjukkan bahwa korelasi antara data curah hujan dari satelit TRMM harian dan data curah hujan *rain gauge* harian tidak kuat.



Gambar 3-1: Perbandingan curah hujan harian TRMM dan curah hujan *in-situ rain gauge* (BBWS) tahun 2000 sampai dengan 2009 wilayah DAS Citarum

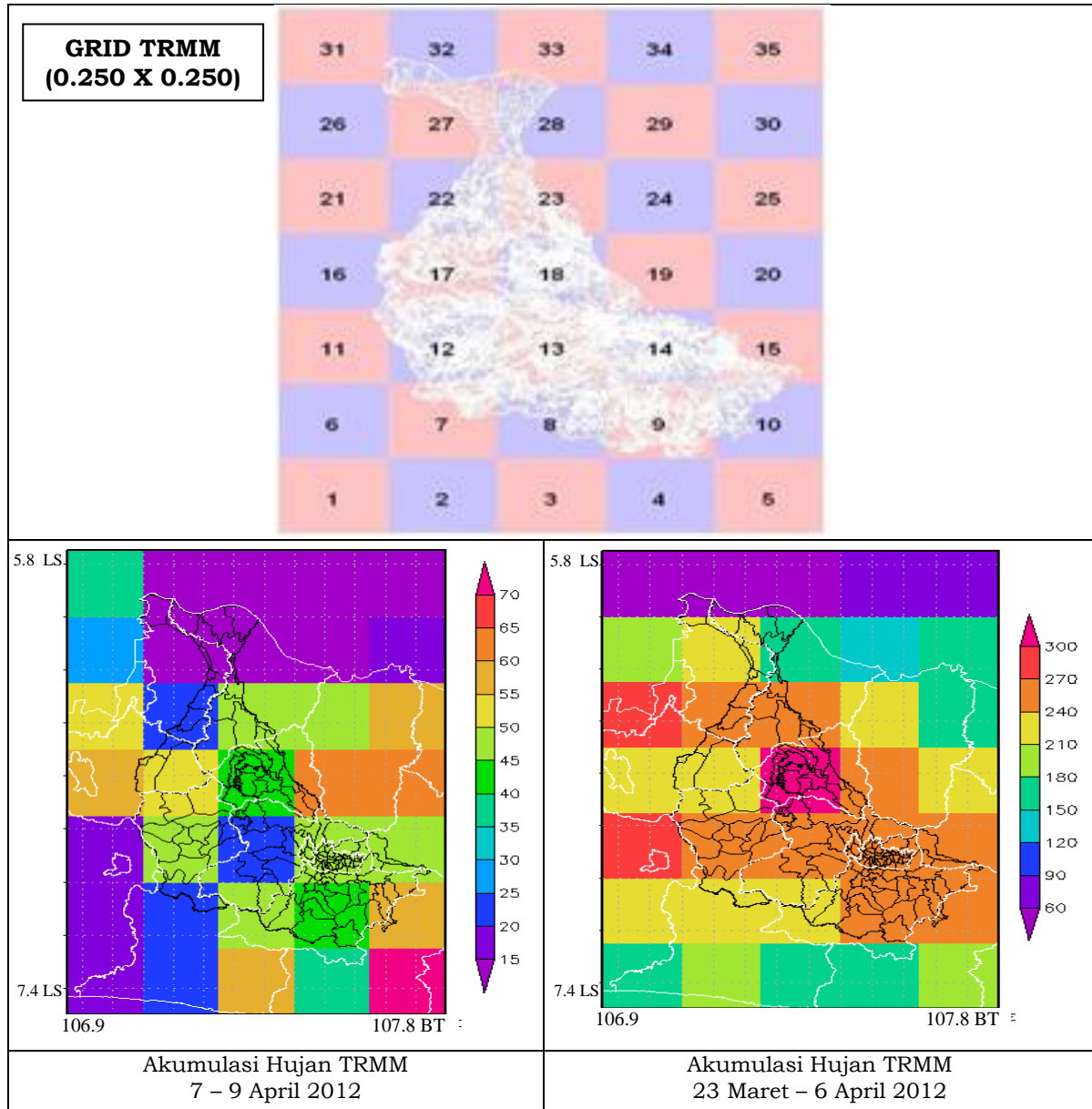
Gambar 3-2 adalah peta kerentanan tanah potensi longsor yang memperlihatkan bahwa kawasan DAS Citarum sebagian besar berada pada kelas kerentanan sedang. Ada lima tingkat kerentanan di DAS ini, yaitu sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah dan sangat rendah. Apabila skor total parameternya tinggi, maka tingkat kerentanannya juga semakin tinggi. Berdasarkan penentuan nilai ambang batas curah hujan dengan persamaan empiris, nilai indeks ambang batas curah hujan dapat digunakan untuk memprediksi potensi terjadinya longsor sebagai sistem peringatan dini, maka dapat dilakukan mitigasi untuk memperkecil korban jiwa.



Gambar 3-2: Peta kerentanan potensi longsor

Titik grid data satelit TRMM terdiri dari 20 grid yaitu 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 26, 27, 28, 32, dan 33 untuk resolusi $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ seperti yang tercantum pada Gambar 3-3. Nilai ambang batas curah hujan ditentukan dengan mengambil nilai P_1 dan P_2 minimum yaitu curah hujan kumulatif 72 jam (3 hari) sebelum kejadian dan curah hujan kumulatif 15 hari sebelum P_1 . Nilai ambang hujan

pemicu longsor dengan menghitung nilai P_1 dan P_2 berdasarkan data satelit TRMM yaitu P_1 diperoleh dari kumulatif curah hujan pada 3 hari sebelum terjadinya longsor dan P_2 diperoleh dari kumulatif intensitas curah hujan 15 harian dari H-3. Setelah diperoleh nilai ambang batas curah hujan yang menyebabkan terjadinya longsor, kemudian nilai indeks ambang batas curah hujan yang berpotensi terjadinya longsor dapat diperoleh.



Gambar 3-3: Penomoran grid curah hujan DAS Citarum dari TRMM (panel atas) dan akumulasi hujan TRMM pada tanggal 7- 9 April 2012 (kiri bawah) dan tanggal 23 Maret – 6 April 2012 (kanan bawah)

Dari hasil plot penentuan nilai ambang batas curah hujan dengan menggunakan masukan data curah hujan TRMM diperoleh formula ambang hujan untuk 3 kelas kerentanan (Gambar 3-4). Pada Gambar 3-4 sumbu x adalah nilai P_2 kumulatif curah hujan 15 hari dalam mm sebelum kejadian H-3, sedangkan sumbu y adalah nilai P_1 kumulatif curah hujan 3 hari sebelum terjadinya longsor. Persamaan empiris prediksi potensi longsor untuk wilayah dengan kategori kerentanan sedang adalah $P_0 = P_1 + 0,133 P_2 - 29,754$, kategori tinggi adalah $P_0 = P_1 + 0,1794 P_2 - 16,324$, dan kategori sangat tinggi adalah $P_0 = P_1 + 0,4811 P_2 - 32,284$.

3.	Desa Bojongkoneng, Kecamatan Ngamprah	7 April 2013	kelas rentan 3	$P_0 = 90.88843$ $P_1 = 86.51605$ $P_2 = 254.8647$
4.	Ds.Ciloto Kabupaten Cianjur	20 Januari 2014	kelas rentan 3	$P_0 = 83.00124$ $P_1 = 45.28146$ $P_2 = 503.9117$
5.	Kampung Pojok Bolang dan Kampung Margalaksana di Desa Girimukti, Kecamatan Campaka, Kabupaten Cianjur	25 juli 2011	kelas rentan 4	$P_0 = 8.787586$ $P_1 = 12.178$ $P_2 = 72.09357$

4 KESIMPULAN

Informasi tentang prediksi potensi kejadian longsor yang diakibatkan oleh curah hujan diperoleh dengan membuat diagram pencar skor kerentanan. Diagram ini diperoleh dari *overlay* peta kedalaman efektif tanah, jenis tanah, kelerengan tanah, dan penggunaan lahan. Perhitungan nilai ambang batas curah hujan dengan persamaan empirik menggunakan data satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) digunakan untuk prediksi potensi longsor di wilayah DAS Citarum (Jawa Barat). Akumulasi curah hujan 3 hari sebelum kejadian longsor (P_1) dan curah hujan 15 hari sebelum P_1 (P_2) digunakan untuk memperoleh persamaan regresi yang kemudian dipakai untuk menghitung indeks nilai ambang batas curah hujan yang berpotensi menyebabkan longsor. Persamaan regresi ini telah diuji untuk kejadian longsor pada tanggal 10 April 2012 di Kutawaringin (Soreang) Kabupaten Bandung dan Cihideung (Parongpong) Kabupaten Bandung Barat. Berdasarkan pengujian terhadap formula ambang curah hujan pada kejadian longsor untuk beberapa kasus di wilayah DAS Citarum, diperoleh potensi terjadinya longsor dalam kategori kerentanan sedang, tinggi dan sangat tinggi (kelas rentan 3, 4 dan 5). Dari hasil pengujian persamaan empiris terhadap prediksi potensi kejadian longsor di DAS Citarum mampu menunjukkan prediksi cukup baik. Persamaan empiris di atas berlaku pada kategori tingkat kerentanan sedang, tinggi dan sangat tinggi. Untuk memperoleh hasil prediksi yang lebih baik maka diperlukan parameter tambahan seperti keberadaan patahan, geologi batuan, infrastruktur, dan juga menambahkan data kejadian longsor sehingga dapat diperoleh prediksi longsor yang lebih akurat.

DAFTAR RUJUKAN

- Adler, R., H. Yang, G.Huffman, 2006. *Satellite Precipitation Measurements: Results from TRMM and Promise of GPM*, Journal of Natural Hazards Special Issues: (accepted)
- Arsyad, S', 1989. *Konservasi Tanah dan Air*, IPB Press, Bogor.
- Caine, Nel, 1980. *The Rainfall Intensity-Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows*, Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography © 1980 Geogr. Ann. 62 A (1-2): 23-27.
- Chleborad, A. F., 2000. *Preliminary Method for Anticipating the Occurrence of Precipitation-induced Landslide in Seattle*, Washington, Science for a changing word (USGS).
- Chleborad, A.F., Rex L, danJ.W. Godt., 2006. *Rainfall Thresholds for Forecasting Landslides in the Seattle*, Washington, area-Exceedance and Probability, Science for a changing word (USGS).
- Cholianawati, N., I. Susanti. S., S. A. Rahayu., S. B. Sipayung dan R. Sunarya, 2012. *Potensi Penggunaan TMPA NASA Dalam Memprediksi Bahaya Longsor*, Proceeding Seminar Nasional Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2012, Buku 2, ISSN 2088-4818, IATPI, Jakarta.

- Draharjo, P., 2010. *Aplikasi Data Inderaja dan SIG dalam Identifikasi Kerentanan Bencana Alam*, <http://puguhdraharjo.wordpress.com/2010/12/12/aplikasi-data-inderaja-dan-SIG-dalam-identifikasi-kerentanan-bencana-alam/>.
- Hong, Y., R. Adler, dan G. Huffman, 2006. *Rain Information from Real-Time TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis [TMPA/3B42]* GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 33, L22402, doi:10.1029/2006GL028010.
- Paimin, Sukresno dan Purwanto, 2009. *Assessment of Flood and Landslide Vulnerability for Watershed Management Plan at Grindulu Watershead, Pacitan District, Indonesia*, Rapid Investigation of Sub Watershed Degradation, Researchers on Hydrology and Soil Conservation At Solo Forestry Reseach Institute, Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi Alam, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Surakarta.
- Rahayu, S. A., N. Cholianawati, I. Susanti., S. B. Sipayung., R. Sunarya dan T. Suparno, 2012. *Penentuan Ambang Batas Curah Hujan untuk Prediksi Kejadian Longsor di Das Citarum*, Proceeding Seminar Nasional Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2012, Buku 1, ISSN 2088-4818, IATPI, Jakarta.
- Takara, K., Yosuke Y, dan Agung B.I., 2009. *Study on Early Warning System for Shallow Landslides in the Upper Citarum River Catchment*, Indonesia, Annual of Disas Prev Res. Inst, Kyo Univ No 52 B, 2009.
- USACE: U.S. Army Corps of Engineers, 1997. *Reliability Analysis of Miter Gates Lock and Dam Z2*, Rock Island District, Rock Island, IL.
- Wahyunto, H. Sastramihardja, W. Supriatna dan W. Wahdin, 2001. *Kerawanan Longsor Lahan Pertanian di DAS Citarum Jawa Barat*, dalam Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian.
- Van Zuaidam, R. A., 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, ITC, Enschede the Netherlands.