

PENGARUH CURAH HUJAN TERHADAP POTENSI LONGSOR DI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CITARUM

Indah Susanti, Sinta Berliana Sipayung, Nani Cholianawati, Soni Aulia Rahayu,
Lilik Slamet S., Rachmat Sunarya
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN
indahpl@gmail.com

Abstract

In Indonesia, the dominant influence on the occurrence of landslides are rainfall. Related to that, this study focused on the problem of landslide occurrence resulting from high intensity rainfall or extreme rainfall. The data used is the daily rainfall (mm / day) and daily avalanche events from 2000 and 2010. Rainfall data used is estimated from the TRMM satellite with a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. In addition to rainfall, other factors that influence the incidence of landslides is the effective depth of soil, land slope, soil type and land use dioverlay using geographic information systems to obtain the classification level of vulnerability. The method used is the determination of the threshold values of precipitation at the time of the slide so it can be identified value in rainfall events can cause landslides. Determination of threshold rainfall is performed for each category of vulnerability. Based on the analysis and verification, it is concluded that the resulting formula is based on the estimation of rainfall data TRMM data can be used to detect events Citarum landslide.

Keywords : Rainfall, landslide, DAS Citarum, TRMM

Abstrak

Di Indonesia, yang dominan mempengaruhi terjadinya longsor adalah curah hujan. Terkait dengan itu, penelitian ini difokuskan pada masalah kejadian longsor akibat dari intensitas curah hujan yang tinggi atau curah hujan ekstrim. Data yang digunakan adalah curah hujan harian (mm/hari) dan kejadian longsor harian dari tahun 2000 dan 2010. Data curah hujan yang digunakan merupakan hasil estimasi dari satelit TRMM dengan resolusi spasial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Selain curah hujan, faktor lain yang mempengaruhi kejadian longsor adalah kedalaman efektif tanah, kelerengan tanah, jenis tanah dan penggunaan lahan yang dioverlay dengan menggunakan sistem informasi geografis untuk memperoleh klasifikasi tingkat kerentanan. Metode yang digunakan adalah penentuan nilai ambang curah hujan pada saat kejadian longsor sehingga dapat diidentifikasi nilai curah hujan yang dapat menimbulkan kejadian longsor. Penentuan nilai ambang curah hujan tersebut dilakukan untuk setiap kategori kerentanan. Berdasarkan hasil analisis dan verifikasi, diperoleh kesimpulan bahwa formula yang dihasilkan berdasarkan data curah hujan hasil estimasi dengan data TRMM dapat digunakan untuk mendeteksi kejadian-kejadian longsor di DAS Citarum.

Kata kunci : Curah hujan, longsor, DAS Citarum, TRMM

1. PENDAHULUAN

Longsor merupakan fenomena geologi dan menjadi salah satu bencana yang paling tersebar di berbagai permukaan bumi. Fenomena ini ditunjukkan dengan adanya pergerakan tanah dalam skala luas, baik dalam bentuk jatuhnya bebatuan, kegagalan lereng ataupun aliran debris yang

dangkal, yang dapat terjadi di lingkungan daratan, pantai maupun laut. Dalam pergerakan tanah tersebut, gravitasi merupakan kekuatan pengendali utama, dan faktor lain berkontribusi dan mempengaruhi kestabilan awal dari lereng.

Longsor seringkali menimbulkan dampak yang besar dalam berbagai aspek (kematian, aspek sosial, finansial, kerusakan infrastruktur, dan sebagainya). Untuk itu diperlukan usaha untuk meminimasi dampak dengan berusaha mendeteksi secara dini kemungkinan terjadinya longsor.

Tanah longsor yang dipicu oleh hujan mungkin dapat dikaji potensinya secara real time dengan menggunakan integrasi data antara intensitas curah hujan-durasi ambang batas dan informasi yang terkait dengan kerentanan permukaan tanah. Namun, tidak ada sistem, baik di tingkat nasional maupun skala global, untuk memantau atau mendeteksi kondisi curah hujan yang dapat memicu longsor, yang disebabkan kurangnya informasi mengenai tanah dan curah hujan berbasis jaringan. Kemajuan dalam teknologi penginderaan satelit dengan resolusi yang lebih baik, meningkatkan ketersediaan data untuk seluruh dunia, termasuk untuk daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau. Dalam makalah ini diuraikan kerangka kerja untuk pengembangan awal sistem prediksi 'real-time' untuk mengidentifikasi di mana curah hujan dapat menjadi pemicu tanah longsor, dengan menggabungkan dua komponen yang diperlukan: kerentanan permukaan dan curah hujan real-time berbasis data satelit. Pertama, peta kerentanan longsor diidentifikasi berdasarkan kombinasi karakteristik permukaan semi-statis (ketinggian topografi, kemiringan, jenis tanah, tekstur tanah, klasifikasi penutup lahan, dll) dengan menggunakan sistem informasi geografis. Kedua, hubungan empiris diidentifikasi antara curah hujan intensitas harian dan kejadian longsor untuk menilai nilai curah hujan yang menjadi ambang batas terjadinya longsor.

Dalam hal ini, kegiatan ini lebih ditekankan pada pengaruh curah hujan pada terjadinya longsor untuk karakteristik permukaan tertentu di Kawasan DAS Citarum. Yang dimaksud karakteristik permukaan dalam konteks ini adalah tingkat kerentanan lokasi terhadap kejadian longsor. Karakter kerentanan tersebut dibangun dari sifat-sifat jenis tanah, guna lahan, kedalaman efektif dan kemiringan lahan, yang mana sifat-sifat tersebut sangat berkaitan dengan kemampuan tanah dalam menyimpan air. Hal ini menjadi penting, karena kadar air dalam tanah memiliki pengaruh besar pada daya apung material tanah yang terkait dengan kejadian longsor.

Penentuan tingkat kerentanan lokasi terhadap kejadian longsor, dilakukan dengan mengacu pada metode yang dibangun oleh Paimin (Sumber : Paimin, et al., 2006, Paimin, et al., 2009). Sedangkan untuk melihat pengaruh curah hujan pada potensi terjadinya longsor, adalah dengan memodelkan hubungan antara durasi-intensitas curah hujan dan kejadian longsor (Keefer and Wilson, 1987). Hasil akhirnya adalah probabilitas kejadian longsor yang dipicu oleh curah hujan.

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan estimasi dengan menggunakan data satelit TRMM/TMPA untuk memperoleh cakupan wilayah yang luas secara real time.

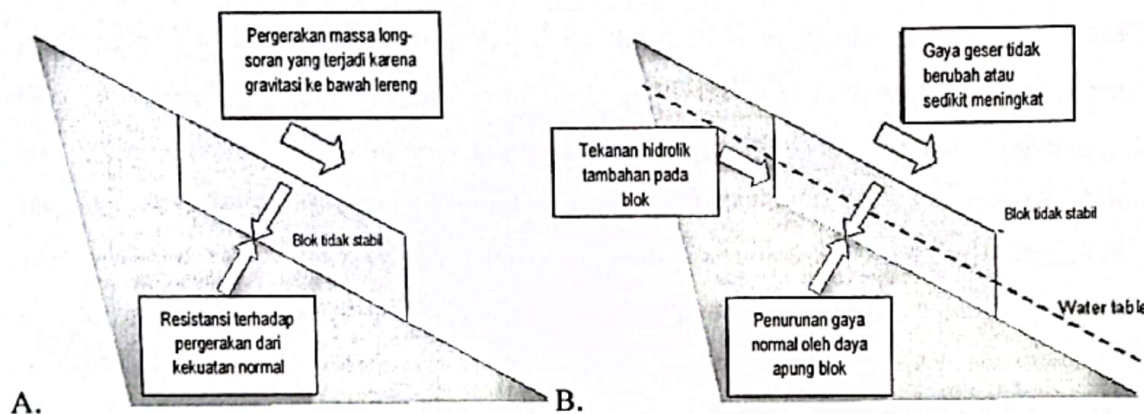
Pada saat ini, belum terdapat sistem basis data curah hujan in situ yang cukup mengidentifikasi semua kejadian longsor, baik untuk skala Indonesia, ataupun dalam lingkup yang lebih kecil, termasuk untuk Kawasan DAS Citarum. Oleh karena itu digunakan informasi berbasis remote sensing sebagai sumber data curah hujan . Kemajuan sistem data berbasis satelit pada saat ini dalam teknologi observasi curah hujan dan peningkatan ketersediaan produk-produk geospasial resolusi tinggi memberikan peluang untuk membangun sistem prediksi real-time gambaran luas mengenai hujan yang menjadi pemicu terjadinya longsor.

2. HUJAN SEBAGAI PEMICU LONGSOR

Dalam sebagian besar kasus pemicu utama longsor adalah curah hujan lebat atau hujan berkepanjangan. Umumnya ini terjadi karena adanya peristiwa besar yang singkat, seperti terjadinya sebuah siklon tropis atau curah hujan yang terkait dengan badai sangat intens maupun peristiwa curah hujan intensitas rendah dengan durasi panjang, seperti efek kumulatif curah hujan monsun di Asia Selatan. Dalam kasus yang pertama biasanya terjadi kondisi curah hujan dengan intensitas yang sangat tinggi, sedangkan yang terakhir, intensitas curah hujannya mungkin hanya moderat - namun durasi dan kondisinya sudah ada tekanan pori air. Pentingnya curah hujan sebagai pemicu tanah longsor tidak bisa di luar perkiraan. Sebuah survei global menunjukkan bahwa terjadinya longsor dalam 12 bulan sampai akhir September 2003, terdapat 210 peristiwa tanah longsor yang merusak seluruh dunia. Dari jumlah tersebut, lebih dari 90% dipicu oleh hujan deras. Salah satu curah hujan misalnya di Sri Lanka Mei 2003 telah memicu ratusan longsor, menewaskan 266 orang dan menyebabkan lebih dari 300.000 orang menjadi tunawisma sementara.

Mengapa curah hujan memicu tanah longsor begitu banyak? Pada prinsipnya ini adalah karena curah hujan mendorong peningkatan tekanan air pori dalam tanah. Gambar A menggambarkan gaya yang bekerja pada sebuah blok yang tidak stabil di lereng. Gerakan ini didorong oleh tegangan geser, yang dihasilkan oleh massa dari blok yang bertindak karena gravitasi ke bawah lereng. Resistensi terhadap gerakan adalah hasil dari beban normal. Ketika lereng terisi dengan air, tekanan fluida memberikan daya apung terhadap blok, mengurangi resistensi terhadap gerakan. Selain itu, dalam beberapa kasus tekanan cairan dapat menyebabkan terjadinya gerakan menuruni lereng akibat aliran air tanah yang memberikan dorongan hidrolik terjadinya longsor yang

lebih lanjut karena berkurangnya stabilitas. Contoh yang diberikan dalam gambar A dan B jelas merupakan situasi buatan, mekanisme dasarnya sesuai fakta yang terjadi.



Gambar 1. Mekanisme dasar terjadinya longsor yang dipicu oleh hujan

Upaya besar telah dilakukan untuk memahami pemicu terjadinya longsor dalam sistem alam, dengan hasil yang cukup bervariasi. Misalnya, Larsen dan Simon di Puerto Rico menemukan bahwa badai dengan curah hujan 100-200 mm total, sekitar 14 mm hujan per jam selama beberapa jam, atau 2-3 mm hujan per jam selama sekitar 100 jam dapat memicu tanah longsor di lingkungan tersebut. Rafi Ahmad, di Jamaika, menemukan bahwa untuk curah hujan durasi pendek (sekitar 1 jam) intensitas yang lebih besar dari 36 mm/jam yang diperlukan untuk memicu tanah longsor.

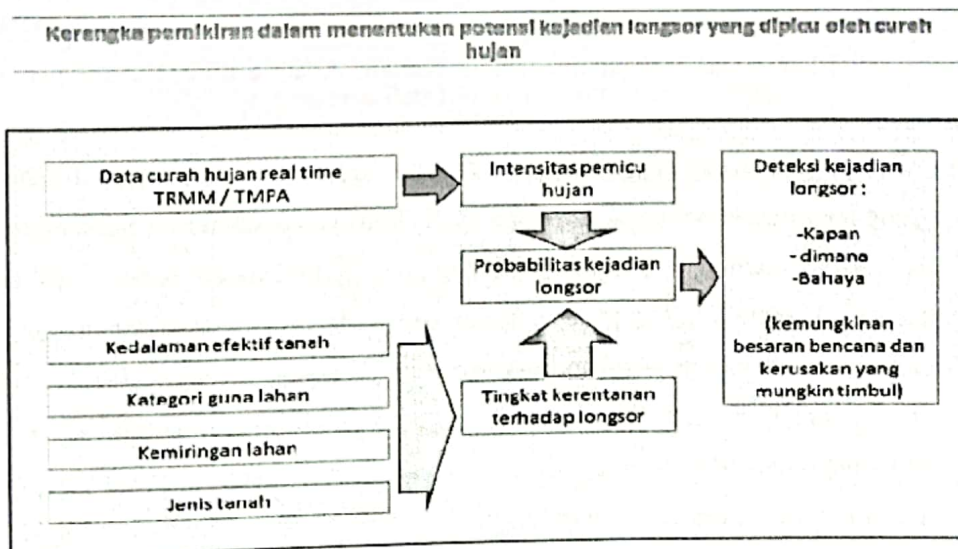
3. DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam studi ini adalah data Data curah hujan harian hasil estimasi dari TRMM/TMPA dengan resolusi $0,25^\circ$ dengan periode waktu dari tahun 2000 – 2010, data kejadian longsor yang bersumber dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah Provinsi Jawa Barat, untuk periode 2000 – 2010 dan data kemiringan, informasi tipe tanah, guna lahan dan kedalaman efektif tanah yang bersumber dari BPDAS untuk menentukan tingkat kerentanan terhadap longsor.

Studi ini mengarah pada identifikasi pengaruh curah hujan pada potensi kejadian longsor pada karakteristik kerentanan tertentu berdasarkan data jenis tanah, kemiringan lahan, dan jenis guna lahan dan kedalaman efektif tanah. Analisis selanjutnya diperlukan *assessment* mengenai bencana longsor, setidaknya untuk mengetahui 'dimana' dan 'kapan' longsor mungkin terjadi. Kerangka konseptual yang digunakan adalah dengan menggabungkan informasi curah hujan dan karakteristik permukaan lahan:

1. Pertama, menentukan prototipe peta kerentanan longsor untuk daerah kajian, dalam hal ini Kawasan DAS Citarum dengan menggunakan data kemiringan, informasi jenis tanah, guna lahan dan kedalaman efektif tanah. Masing-masing parameter diberi bobot, dan bobot setiap parameter diakumulasi untuk memperoleh bobot total. Semakin tinggi nilainya, maka daerah tersebut semakin rentan terjadi longsor.
2. Kedua, menentukan batas ambang curah hujan yang dapat menimbulkan terjadinya longsor berdasarkan tingkat kerentanannya. Hal ini dilakukan dengan mengidentifikasi jumlah curah hujan harian selama 3 dan 15 hari sebelum kejadian longsor.
3. Ketiga, peta kerentanan di-overlay dengan observasi/estimasi curah hujan dari satelit untuk mengidentifikasi lokasi dan waktu kemungkinan terjadinya longsor pada area-area dengan tingkat kerentanan signifikan yang menerima curah hujan diatas batas ambang.

Gambar 2 menjelaskan alur pemikiran untuk mengidentifikasi probabilitas kejadian longsor yang disebabkan oleh curah hujan dan mendeteksi 'kapan' dan 'dimana' longsor mungkin terjadi. Sedangkan gambar 3 merupakan ilustrasi lintasan satelit TRMM/TMPA yang digunakan untuk mengidentifikasi curah hujan setiap kejadian longsor.



Gambar 2. Alur pemikiran identifikasi probabilitas kejadian longsor

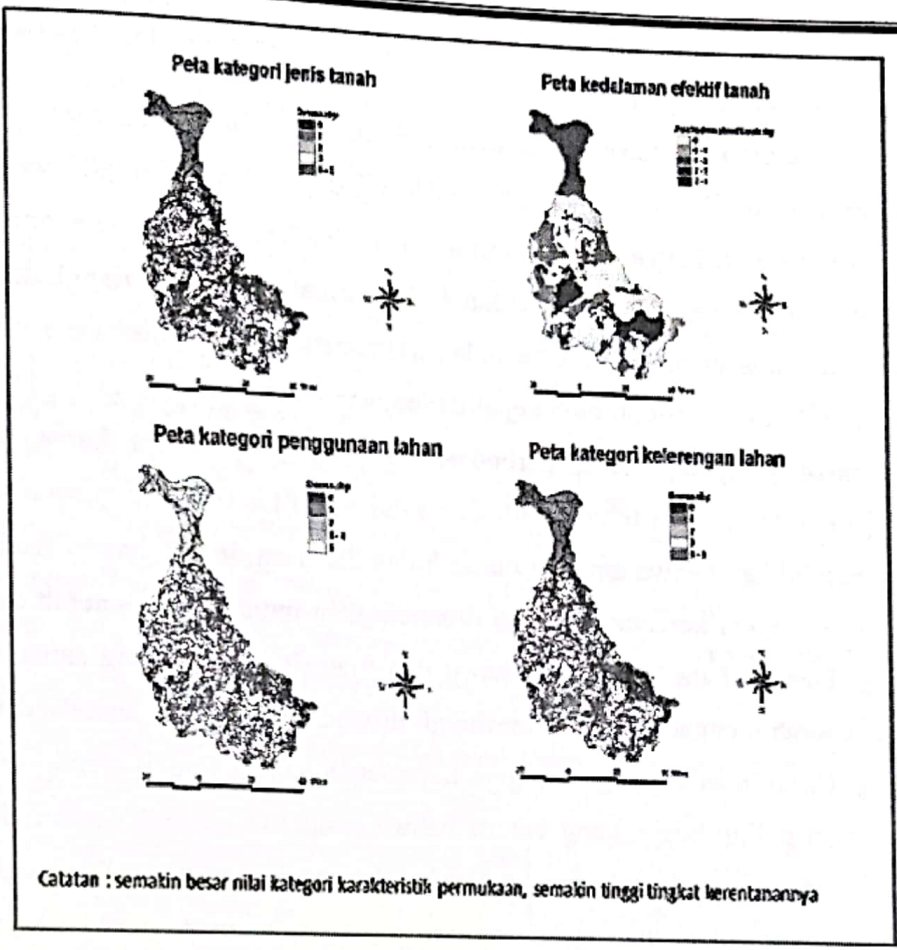


Gambar 3. Lintasan satelit TRMM/TMPA. TMPA merupakan produk standar TRMM pada skala/resolusi ruang dan waktu yang tinggi dan mencakup lintang 50° LU-LU untuk periode 1998 sampai sekarang. Versi real-time produk TMPA diluncurkan pada Februari 2002 dan dapat diunduh dari web NASA (<http://trmm.gsfc.nasa.gov>)

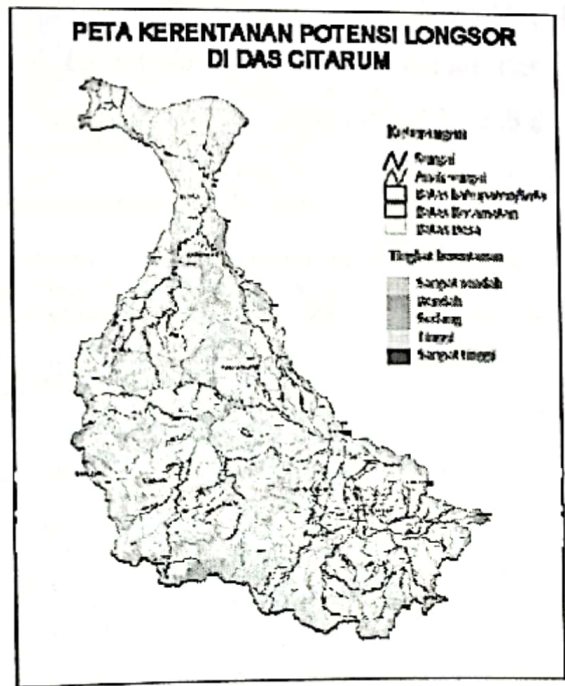
4. HASIL DAN PEMBAHASAN (12 POINT, TIMES NEW ROMAN)

4.1 Tingkat kerentanan longsor di DAS Citarum

Dari hasil pengolahan data, Kawasan DAS Citarum merupakan kawasan yang cenderung memiliki tingkat kerentanan sedang dan tinggi. Hanya sebagian kecil dari seluruh daerah kajian yang memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi atau rendah. Apabila dilihat unsur penyusunnya, maka secara umum tidak ada faktor dominan yang mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap longsor. Hal ini karena satu parameter yang cenderung memiliki bobot besar, diimbangi oleh parameter lain yang memiliki bobot kecil, sehingga hasil akhirnya adalah termasuk kategori sedang. Sebagai contoh, apabila diamati, Kawasan DAS bagian selatan dengan bobot jenis tanah dan kelerengan yang tinggi, memiliki bobot guna lahan dan kedalaman efektif tanah yang rendah. Meskipun Kawasan DAS Citarum tersusun oleh grumosol, regosol, litosol, latosol dan podsolik yang peka terhadap erosi, namun karena kelerengannya tidak terlalu curah, serta dominasi kedalaman efektif yang relatif 'dalam', membentuk karakteristik tingkat kerentanan yang cenderung sedang. Bagian dari DAS Citarum yang memiliki tingkat kerentanan sedang mencapai 56,1 persen, sedangkan tingkat kerentanan tinggi mencapai 38,2 persen. Hanya 0,73% dari total luas DAS Citarum yang termasuk dalam tingkat kerentanan sangat tinggi yang berada di sekitar hulu.



Gambar 4. Peta Lingkungan penentuan kerentanan



Gambar 5. Peta kerentanan potensi longsor DAS Citaram

4.2 Ambang batas curah hujan

Berdasarkan tingkat kerentanan yang telah diidentifikasi, dianalisis masing-masing tingkat curah hujannya, yaitu ambang curah hujan minimal yang dapat memicu terjadinya longsor. Nilai ambang curah hujan tersebut hanya dianalisis untuk 3 tingkat kerentanan (kerentanan sedang atau kelas rentan 3, kerentanan tinggi atau kelas rentan 4, dan kerentanan sangat tinggi atau kelas rentan 5). Masing-masing ambang batas dinyatakan dalam persamaan kurva linier yang ditentukan dari nilai curah hujan terendah yang diikuti oleh kejadian longsor.

Dari persamaan yang diperoleh, perbedaan nampak jelas antara kurva untuk tingkat kerentanan sedang dan kerentanan tinggi, baik dari nilai *slope* kurva maupun nilai *intercept*-nya. Hal ini mutlak menunjukkan bahwa ambang curah hujan 3 harian dan 15 harian lebih kecil untuk daerah-daerah dengan tingkat kerentanan tinggi dibandingkan untuk daerah-daerah dengan tingkat kerentanan sedang. Dengan kata lain, untuk durasi dan intensitas hujan yang sama, pengaruhnya lebih besar pada daerah dengan kerentanan tinggi dibandingkan pada daerah dengan tingkat kerentanan sedang. Untuk daerah dengan tingkat kerentanan sangat tinggi, slope kurva intensitas hujan 3 dan 15 harian paling besar, yang berarti bahwa pengaruh peningkatan curah hujan akan lebih berdampak untuk daerah-daerah dengan tingkat kerentanan yang lebih tinggi. Gambar 6 adalah grafik yang menunjukkan masing-masing ambang batas untuk tingkat kerentanan sedang, tinggi dan sangat tinggi.

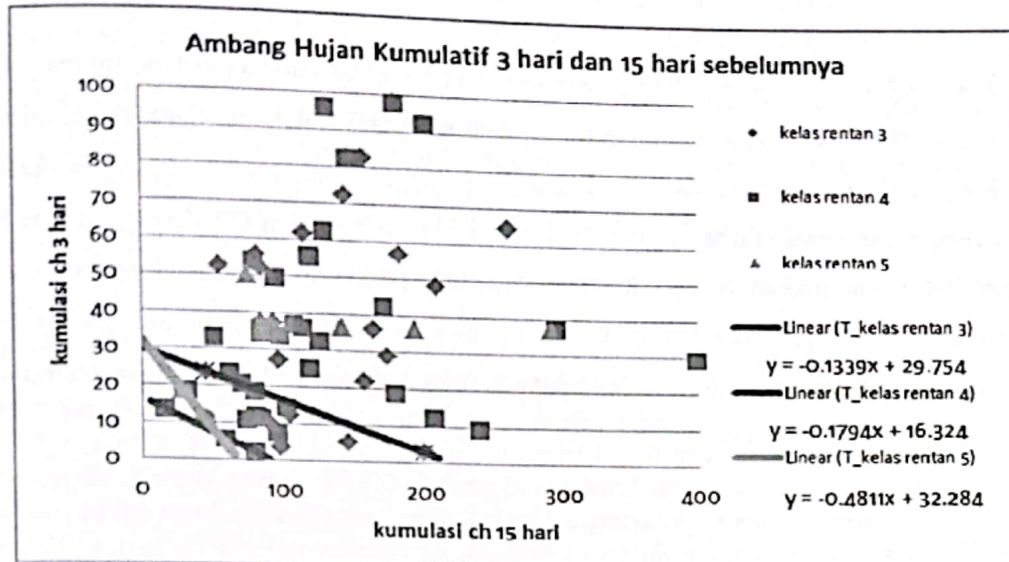
Nilai-nilai *slope* (m) dan *intercept* (c) yang ada pada gambar 6, dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu daerah memiliki peluang untuk terjadi longsor atau tidak dengan menggunakan nilai curah hujan 3 dan 15 harian, dengan formula sebagai berikut :

$$P_o = P_1 - mP_2 - c \quad (1)$$

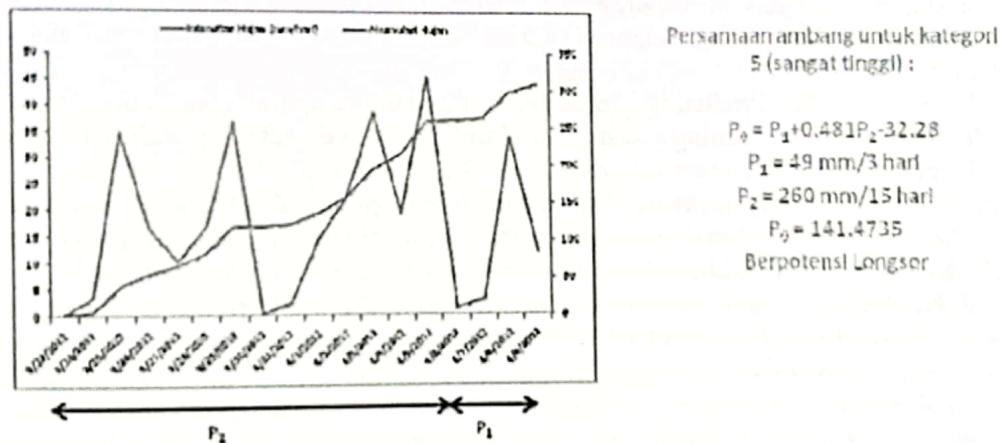
dengan P_o adalah nilai peluang, P_1 adalah nilai akumulasi curah hujan 3 harian, P_2 adalah nilai akumulasi curah hujan 15 harian, m adalah slope persamaan ambang curah hujan, dan c adalah intercept dari persamaan ambang curah hujan. Apabila P_o bernilai lebih dari 1, berarti daerah yang bersangkutan memiliki peluang terjadinya longsor.

Sebagai validasi, persamaan tersebut diterapkan pada kasus daerah Cihideung- Lembang tanggal 9 April 2012, dimana akumulasi curah hujan 3 harian mencapai 49 mm dan akumulasi curah hujan 15 harian mencapai 260 mm. Karena daerah Cihideung memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi, apabila persamaan di atas diterapkan, maka nilai P_o yang diperoleh adalah 141,47 yang berarti memiliki peluang terjadi longsor. Secara aktual, daerah tersebut memang mengalami

longsor pada hari tersebut. Ini berarti bahwa persamaan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan pengembangan lebih lanjut.



Gambar 6. Grafik ambang batas minimum curah hujan yang dapat menimbulkan longsor Kutawaringin dan Cihideung



Gambar 7. Intensitas dan akumulasi curah hujan TRMM

Kualitas peta kerentanan yang diperoleh, akan sangat bergantung pada akurasi dan skala informasi yang diperoleh dari data geospasial. Peta kerentanan longsor global yang diproduksi di sini membutuhkan validasi dari ketersediaan data lokal dan proses iteratif verifikasi dapat memperbaiki dan meningkatkan kualitas peta ini dengan ketersediaan dataset lokal yang ada. Peta kerentanan dapat diperbarui setiap kali muncul dataset geospasial yang baru atau lebih baik. Peta kerentanan juga dapat berperilaku secara semi dinamis dengan terus memperbarui informasi perubahan tutupan lahan bulanan dan / atau perubahan kemiringan dan guna lahan yang terjadi. Prosedur dapat secara sistematis berlaku seluruh daerah. Selain itu, informasi lebih lanjut (misalnya

litologi) dapat dimasukkan ke dalam peta kerentanan secara umum atau spesifik lokasi yang telah tersedia.

5. KESIMPULAN

Kawasan DAS Citarum merupakan daerah dengan tingkat kerentanan sedang sampai sangat tinggi. Berdasarkan masing-masing tingkat kerentanan yang telah teridentifikasi, disusun persamaan batas ambang curah hujan kumulasi 3 hari dan 15 hari sebelum kejadian. Sebagai validasi awal, persamaan tersebut diterapkan pada kasus Kutawaringin dan Cihideung, dimana hasil penerapan tersebut menunjukkan adanya kesesuaian antara perkiraan "potensi longsor" dengan kejadian aktualnya. Dengan demikian, kerangka awal ini dapat dijadikan acuan untuk pengembangan sistem peringatan dini lebih lanjut. Namun hal ini perlu didukung oleh sistem ketersediaan data real-time yang akurat.

DAFTAR RUJUKAN

- Hengxing LAN, ZHOU Chenghu, C. F. Lee, WANG Sijing & WU Faquan. Rainfall-induced landslide stability analysis in response to transient pore pressure - A case study of natural terrain landslide in Hong Kong. *Science in China Ser. E Technological Sciences* Vol.46 Supp. 52_68, 2003
- HONG Y., R. F. ADLER, Predicting global landslide spatiotemporal distribution: Integrating landslide susceptibility zoning techniques and real-time satellite rainfall estimates. *International Journal of Sediment Research* 23, 249-257, 2008.
- Hong Y., R. Adler, and G. Huffman. Evaluation of the potential of NASA multi-satellite precipitation analysis in global landslide hazard assessment. *Geophysical Letter* Vol. 33, L22402, doi:10.1029/2006GL028010, 2006
- Jafari S. and N. Zaredar. Land Suitability Analysis using Multi Attribute Decision Making Approach. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol.1, No.5, ISSN: 2010-0264 December 2010.
- 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., Zarkin, R.S. Real-time landslide warning during heavy rainfall. *Science*, 238: 921-925, (1987).
- Paimin, Sukresno, dan Purwanto. Sidik Cepat Degradasi Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS). Puslitbang Hutan dan Konservasi Alam. Bogor. 2006.
- Paimin, Sukresno, dan I.B. Pramono. Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor. Puslit Sosek Kebijakan. Bogor. 2009.