

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Faktor-Faktor Penyebab dan Pemicu Tanah Longsor

Highland dan Bobrowsky (2008) menjelaskan faktor-faktor penyebab dan pemicu tanah longsor. Faktor-faktor penyebab dikelompokkan menjadi dua jenis utama yaitu faktor-faktor alami yang meliputi kondisi geologi dan kenampakan permukaan bumi atau morfologi, dan aktivitas manusia. Dengan demikian, faktor-faktor penyebab merupakan faktor internal kondisi lereng dan perubahan kondisi lereng oleh aktivitas manusia. Sedangkan faktor-faktor pemicu merupakan kondisi eksternal yang mendorong terjadinya gerakan tanah. Secara skematik faktor-faktor penyebab dan pemicu tanah longsor seperti disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Faktor-Faktor Penyebab dan Pemicu Tanah Longsor

Faktor Penyebab	Faktor Pemicu
<p>A. Faktor Alami</p> <p>1. Kondisi Geologi</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Material yang lemah, seperti beberapa lereng vulkanik atau sedimen laut yang tidak dikonsolidasi, misalnya b. Material yang rentan c. Material lapuk d. Material geser e. Material yang bercelah atau terletak pada sambungan f. Diskontinuitas massa yang berorientasi negatif g. Diskontinuitas struktural yang berorientasi negatif h. Perbedaan dalam permeabilitas i. Perbedaan dalam kekakuan (material padat di atas bahan plastik) <p>2. Kondisi Morfologi</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Tektonik atau vulkanik 	<ul style="list-style-type: none"> A. Curah hujan yang intens B. Pencairan salju yang cepat C. Penyerapan air hujan secara cepat D. Gempa bumi E. Erupsi vulkanik F. Pembekuan dan pencairan G. Mengembang dan susutnya pelapukan H. Banjir

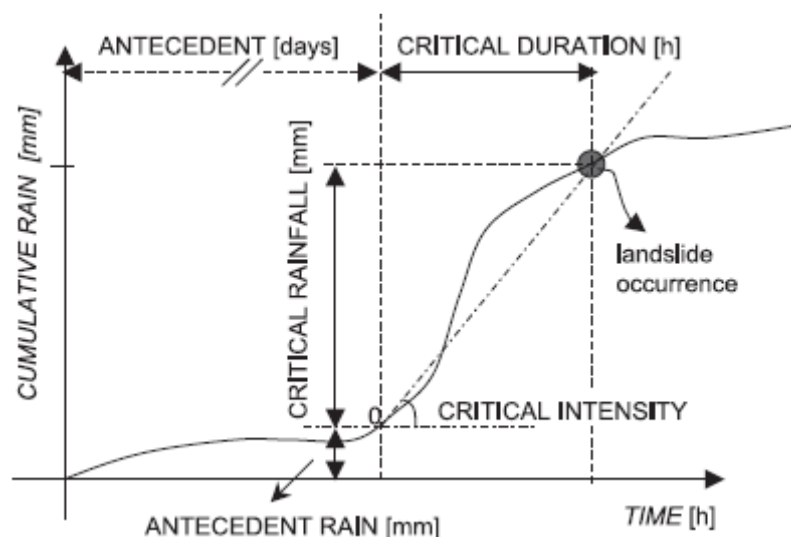
<ul style="list-style-type: none"> b. Melambungnya glasial c. Ledakan glasial yang meleleh d. Erosi fluvial pada kemiringan lereng e. Erosi gelombang tanah pada kemiringan lereng f. Erosi glasial pada kemiringan lereng g. Erosi lateral h. Erosi bawah tanah i. Deposisi pemuatan kemiringan atau puncak kemiringan j. Penghapusan vegetasi 	
<p>B. Faktor Manusia</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penggalian lereng 2. Penggunaan tanah yang tidak stabil untuk konstruksi 3. Pemuatan lereng atau puncak lereng 4. Penghapusan vegetasi 5. Penarikan dan pengisian (waduk) 6. Penggundulan hutan - menebang pohon / penebangan dan pembersihan lahan untuk hasil panen yang tidak stabil 7. Irigasi dan (atau) penyiraman rumput 8. Penambangan / penambangan limbah tambang 9. Getaran buatan seperti gerakan pile atau getaran kuat lainnya 10. Kebocoran air dari saluran, seperti saluran air atau saluran pembuangan 	

<p>11. Pengalihan (direncanakan atau tidak terencana) arus sungai atau arus darat dengan konstruksi dermaga, tanggul, bendung, dan sebagainya</p>	
---	--

Sumber: Highland dan Bobrowsky (2008)

B. Hujan dan Kejadian Longsor

Setidaknya terdapat beberapa pertanyaan tentang hujan pemicu longsor apakah didasarkan pada hubungan hujan anteseden – intensitas hujan yang turun pada hari dimana terjadi longsor, ataukah hubungan antara hujan pemicu – intensitas hujan yang turun pada saat terjadinya longsor. Reichenbach dkk. (1998) mendefinisikan bahwa ambang hujan (*rainfall threshold*) sebagai batas kritis (maksimum atau minimum) jumlah hujan yang turun hingga mencapai tanah. Aleotti (2004) memberikan ilustrasi hujan dan kejadian longsor seperti pada Gambar 2.1 yang mana terdapat beberapa parameter yang digunakan diantaranya hujan anteseden, lama waktu anteseden, intensitas hujan kritis, lama waktu kritis dan kapan waktu kejadian longsor itu sendiri.



Gambar 2.1 Parameter hujan yang digunakan untuk ambang hujan pemicu tanah longsor (Aleotti, 2004).

Hujan kritis adalah hujan yang diukur dari awal kejadian, yaitu pada saat intensitas hujan meningkat sangat drastis, hingga waktu kejadian tanah longsor. Peningkatan intensitas hujan yang sangat tajam ini menyebabkan lonjakan kurva hujan kumulatif yang tiba-tiba. Aleotti (2004) mendefinisikan karakteristik curah hujan kritis yang diukur selama kejadian memiliki spektrum yang besar, baik dalam hal durasi (antara 7 dan 112 jam) dan (rata-rata) intensitas kritis (antara minimum 2 mm / jam dan maksimum lebih dari 26 mm/h). Sedangkan hujan anteseden merupakan hujan yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya keruntuhan lereng atau pergerakan tanah. Aleotti (2004) menyimpulkan bahwa pada tanah yang memiliki permeabilitas tanah rendah, hujan anteseden dapat menjadi faktor penting karena mengurangi hisap tanah dan meningkatkan tekanan air pori-pori di tanah sehingga pengaruh curah hujan anteseden sulit diukur karena bergantung pada beberapa faktor, termasuk heterogenitas tanah (sifat kekuatan dan permeabilitas) dan iklim regional.

Guzzetti dkk (2005) mengamati nilai durasi intensitas dalam koordinat logaritmik, dan menetapkan bahwa dengan durasi curah hujan yang meningkat, intensitas minimum yang cenderung memicu keruntuhan lereng menurun secara linier, dalam rentang durasi dari 20 menit sampai 12 hari. Dengan pengamatan tersebut dapat ditentukan ambang batas intensitas-durasi dapat digunakan untuk inisiasi tanah longsor di suatu area.

Jumlah tanah longsor yang dipicu berbeda jauh dari satu situasi ke situasi lain dan juga kepadatannya. Data-data hujan yang memicu terjadinya tanah longsor dari berbagai jenis hujan di atas dipisahkan dengan data hujan yang tidak memicu terjadinya tanah longsor. Hujan dapat ditentukan dengan menggunakan tiga pendekatan yaitu pemodelan empirik (*empirical based model*), pemodelan proses fisik (*physical-process model*) dan pemodelan statistik (*statistic-based model*) (Guzzetti dkk., 2005).

C. Pemodelan Empirik Ambang Hujan

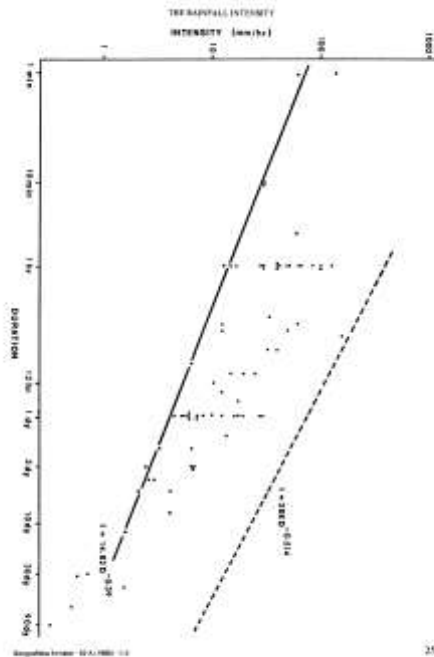
1. Hubungan Intensitas Hujan dan Durasi

Intensitas curah hujan- durasi ambang batas untuk memicu tanah longsor telah banyak diidentifikasi di berbagai iklim dan pengaturan geologi (Wieczorek dan Guzzetti, 2000). Dalam Guzzetti dkk. (2005) dijelaskan bahwa hubungan empiris antara intensitas hujan, curah hujan, dan kemiringan ketidakstabilan telah didokumentasikan dengan seksama, dan para ilmuwan telah menempatkan banyak kejadian untuk memperkirakan ambang hujan, juga sebagai bagian dari sistem peringatan longsor. Prediksi yang cukup dapat diandalkan dalam kasus kejadian longsor berdasarkan ambang durasi intensitas telah diterapkan di Jepang, Selandia Baru, Amerika Serikat, Portugal, Italia dan tempat lain dimana stasiun cuaca banyak dipasang berada pada ketinggian yang berbeda, dan di mana data yang memadai tersedia untuk wilayah dan kejadian temporal tanah longsor untuk memungkinkan analisis yang bermakna secara statistik. Studi pertama yang menghubungkan ambang curah hujan dengan inisiasi tanah longsor diterbitkan oleh Caine (1980). Caine (1980) menyelidiki sebanyak 73 tanah longsor dangkal (<3 m) di lereng yang tidak terpengaruh oleh gangguan buatan oleh sungai. Dengan menggunakan catatan curah hujan setempat, didefinisikan ambang atas inisiasi tanah longsor seperti dalam persamaan (2.1) dan grafik ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut :

$$I = 14,82.D^{-0,39} \quad (2.1)$$

Dimana, I : intensitas hujan (mm/jam)

D : durasi hujan (jam)



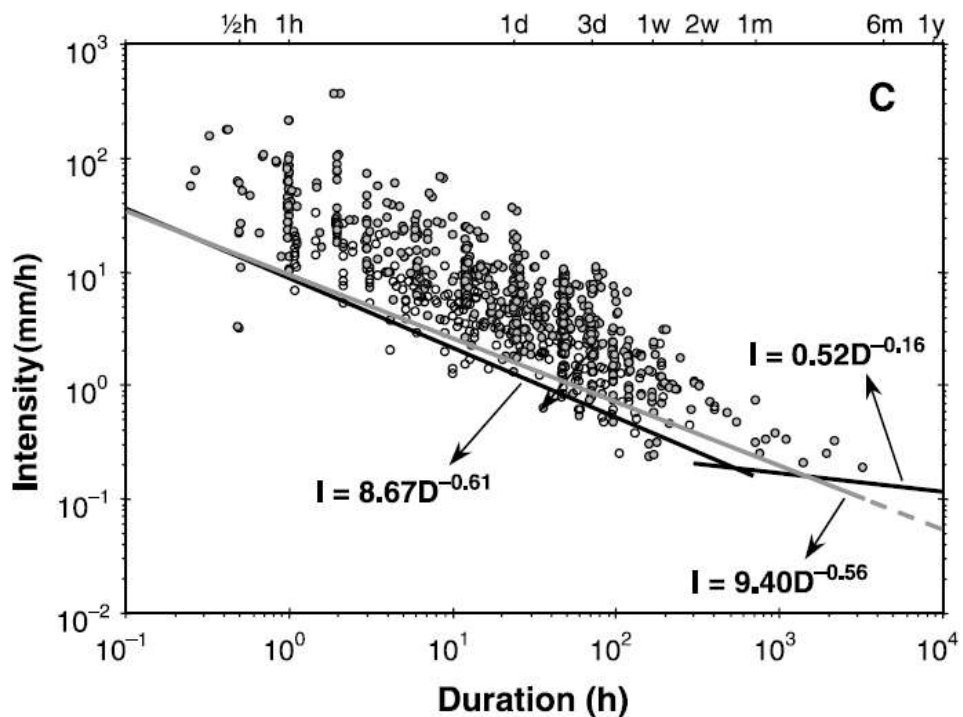
Gambar 2.2. Grafik ambang hujan dari Caine (1980).

2. Hubungan Hujan Anteseden dan Durasi

Guzzetti dkk. (2005) mendefinisikan hujan anteseden merupakan jumlah curah hujan dalam jumlah tertentu beberapa hari sebelum hari dimana terjadi longsor yang telah ditetapkan. Pengaruh curah hujan anteseden sulit diukur karena tergantung pada beberapa faktor, termasuk heterogenitas tanah (kekuatan dan sifat hidrolis) dan iklim regional, di tanah dengan permeabilitas rendah hujan antecedent penting, karena mengurangi hisap tanah dan meningkatkan tekanan air pori.

Kondisi ambang batas hujan anteseden memerlukan data resolusi rendah (data curah hujan harian) yang tersedia untuk periode yang lebih lama (sampai 120 tahun di Italia). Keterbatasan utama dalam menggunakan ambang hujan anteseden mengacu pada interval waktu anteseden yang berbeda (Guzzetti dkk. 2005).

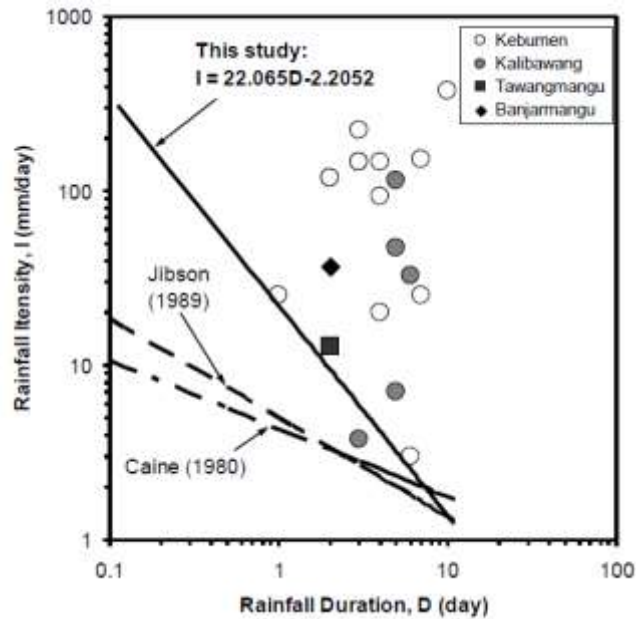
Berikut contoh grafik dari Guzzetti dkk. 2005 garis abu abu menunjukkan garis ambang hujan dan simbol lingkaran penuh menunjukkan kondisi curah hujan yang mengakibatkan tanah longsor.



Gambar 2.3. Grafik ambang hujan dari Guzzetti dkk. (2005).

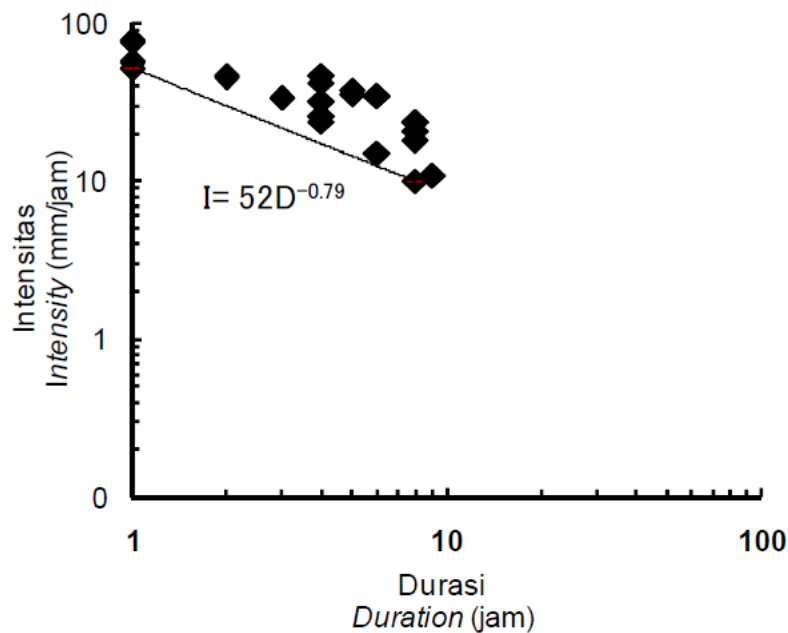
D. Ambang Hujan Pemicu Longsor di Indonesia

Secara umum, ambang hujan (rainfall threshold) dapat didefinisikan sebagai batas kritis (maksimum atau minimum) jumlah hujan yang turun hingga mencapai tanah (Reichenbach dkk. 1998). Ambang batas hujan dapat dibagi dalam ambang global, regional dan lokal. Sebuah ambang batas empiris global diperoleh dengan menggunakan data yang tersedia dari berbagai wilayah di seluruh dunia. Itu artinya ambang batas ini terdiri dari kemungkinan ambang batas umum yang mana tidak tergantung pada kondisi lokal dan pola curah hujan yang khas. Cara termudah untuk mendefinisikannya ambang batas global yaitu dengan penelusuran garis batas bawah yang mencakup semua curah hujan yang tercatat kondisi yang mengakibatkan tanah longsor. Ambang batas wilayah ditentukan dengan mengelompokkan data dari daerah yang memiliki karakteristik meteorologi, geologi dan fisiografi serupa. Sebuah ambang batas hujan lokal secara eksplisit atau implisit mempertimbangkan rezim iklim lokal dan pengaturan geomorfologi. Ambang hujan dapat didefinisikan dengan menggunakan model berbasis empiris, model berbasis proses fisik, dan berbasis statistik model (Muntohar, 2008).



Gambar 2.4. Grafik ambang hujan memicu tanah longsor di Kulon Progo, Kebumen, dan Karanganyar dari (Muntohar, 2008).

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 telah mencoba untuk menetapkan ambang batas intensitas curah hujan dalam memprediksi lereng runtuh/tanah longsor secara akurat (Hasnawir, 2012). Hasnawir (2012) menyimpulkan dalam penelitiannya bahwa berdasarkan 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 $I = 52D^{-0,79}$.



Gambar 2.5. Grafik ambang hujan intensitas-durasi curah hujan untuk tanah longsor dangkal di Sulawesi Selatan dari Hasnawir (2012).

E. Pengembangan Model Empirik Prediksi Tanah Berbasis Data Satelit TRMM

Analisis *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA)* menyediakan skema sekuensial berbasis kalibrasi untuk menggabungkan perkiraan presipitasi dari beberapa satelit, serta analisis *rain gauge* bila memungkinkan, dengan skala ($0,25^\circ - 0,25^\circ$ dan 3 jam). TMPA tersedia dalam *after real time* dan secara *real time*, berdasarkan kalibrasi oleh mesin TRMM Combined Instrument dan TRMM Microwave Imager. Dataset mencakup garis lintang 50° N-S untuk periode 1998 hingga tahun sebelumnya. Hasil validasi awal adalah sebagai berikut: TMPA memberikan kinerja yang wajar pada skala bulanan, walaupun terbukti memiliki tingkat bias bergantung pada curah hujan karena kurangnya sensitivitas terhadap tingkat curah hujan yang rendah di atas lautan di salah satu input berdasarkan Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B)]. Pada skala yang lebih baik, TMPA berhasil mengurangi reproduksi histogram berbasis observasi permukaan, serta mendeteksi kejadian sehari-hari yang cukup besar. TMPA memiliki kemampuan yang lebih rendah dalam menentukan jumlah

kejadian moderat dan ringan dengan interval waktu yang tepat, yang sama dengan *estimator finescale* lainnya (Huffman dkk., 2007).

Sipayung dkk., (2014) menggunakan data satelit TMPA (*NASA TRMM based Multi-satellite Precipitation Analysis*) *near real time* dan menggabungkan estimasi curah hujan dari beberapa satelit untuk membuat estimasi potensi terjadinya longsor di suatu daerah 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. Teknik pembobotan (*scoring*) digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan berdasarkan data kelerengan, kondisi geologi, kedalaman kedap air, dan penggunaan lahan. Huffman dkk. (2007) menjelaskan kekurangan penggunaan metode model empirik prediksi tanah berbasis data satelit TRMM memiliki kemungkinan kesalahan yang besar jika tidak digunakan perkiraan skala atau interval yang baik. Penggunaan data TMPA yang paling berhasil adalah memanfaatkan skala halus untuk menciptakan rata-rata yang sesuai dengan aplikasi pengguna.

Penentuan ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan longsor dilakukan oleh Sipayung dkk. (2014) berdasarkan Chleborad dkk. (2006), dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_0 = P_1 - (-aP_2 + b) \quad (2.2)$$

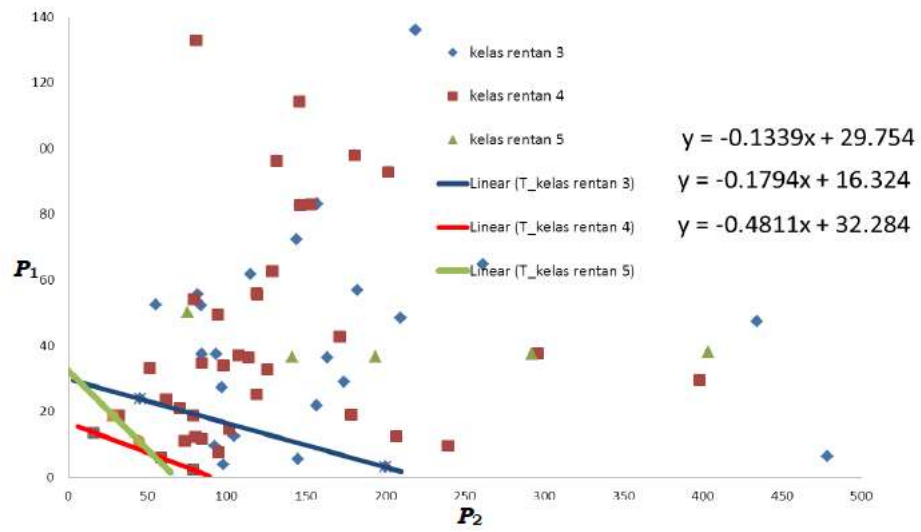
Dimana, p_0 = indeks potensi terjadi longsor

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.



Gambar 2.6. Kurva akumulasi curah hujan dari TRMM selama 3 hari sebelum kejadian longsor (P_1) dan 15 hari sebelum H-3 (P_2) dari Sipayung dkk. (2014).