

STUDI KARAKTERISTIK HUJAN PEMICU LONGSORAN PADA RUAS JALAN TAWAELI-TOBOLI SULAWESI TENGAH

Martini *

Abstract

Landslide is one of the most types of slope movements of soil/rock often occur in Indonesia and resulting in damages such as in agriculture land, highways, structures and even casualties. From the researches landslides often take place on the rainy season, as well as when the rain is falling or after the rain stopped. This research will be done in two phases. First phase is a numerical modeling to simulate and predict slope hidrological behavior in respon to rainfall. The rainfalls applied for modeling are high and low intensity that are ≤ 70 mm/hour and 20 mm/day respectively some hours until days. The rainfall modeling results is used as the data for next phase that is slope stability analysis. Slope stability will be analyzed at the initial condition, when raining and after the rain stopped. This research results the decreased of slope stability caused by the rain depends on the intensity and duration of the rain. The research obtains that the rain intensity of 70 mm/hour is the most potential cause to trigg the landslide than goes of 20 mm/day, 30 mm/hour and 50 mm/hour.

Keyword: landslide, rain intensity, slope stability

1. Pendahuluan

Longsoran merupakan salah satu tipe pergerakan tanah/batuan pada lereng yang sering terjadi di Indonesia terutama pada musim hujan dan mengakibatkan kerugian materiil misalnya rusaknya lahan pertanian, jalan raya, struktur bangunan gedung dan bahkan sering pula menelan korban jiwa. Suatu daerah berpotensi untuk longsor atau tidak, dapat diamati melalui kondisi yang ada di lapangan. Bekas-bekas longsoran yang ada di lapangan dapat digunakan sebagai petunjuk dan dilakukan analisis untuk memperkirakan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya longsoran-longsoran tersebut serta usaha pencegahan longsoran susulan.

Dari hasil-hasil penelitian mengenai peristiwa longsoran, longsoran sering terjadi terutama pada musim hujan. Terjadinya longsoran biasanya diawali dengan turunnya hujan deras. Longsoran terjadi saat sedang hujan atau setelah hujan berhenti. Saat terjadi longsoran tersebut karakteristik hujan yang terjadi sulit diketahui seberapa besar intensitas serta durasinya dan perubahan hidrologi lereng saat terjadi infiltrasi air hujan sulit untuk diamati secara langsung di lapangan.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya, belum ada kesepakatan mengenai

karakteristik hujan pemicu longsoran. Ada yang menyimpulkan bahwa hujan pemicu adalah satu kejadian hujan dengan intensitas yang tinggi, namun yang lainnya menyimpulkan bahwa hujan pemicu longsoran adalah *antecedent rainfall* yaitu hujan dengan intensitas rendah dalam waktu yang panjang sebelum hujan tunggal yang deras terjadi.

Daerah studi adalah lereng-lereng pada jalan Tawaeli-Toboli di Propinsi Sulawesi Tengah. Jalan ini melalui daerah pegunungan dengan kemiringan lereng yang curam yaitu $15^\circ - 80^\circ$. Hingga saat ini masih terjadi longsoran lereng di sepanjang ruas jalan tersebut, baik lereng-lereng hasil pemotongan atau lereng-lereng dalam kondisi asli, terutama saat musim hujan.

Ruang lingkup penelitian ini adalah mendapatkan gambaran perubahan hidrologi lereng dan pengaruhnya terhadap kestabilan lereng serta mengevaluasi karakteristik hujan yang menjadi pemicu longsoran terjadinya longsoran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menunjang tindakan pencegahan terjadinya longsoran. Dengan mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan longsoran dan karakteristik hujan pemicu longsoran, usaha untuk melakukan penanggulangan/pencegahan terjadinya longsoran lebih mudah, ekonomis dan tepat, khususnya pada lokasi penelitian.

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Hujan Pemicu Longsoran

Hujan pemicu longsoran adalah hujan dengan curah hujan tertentu, sehingga air yang dicurahkan dapat meresap ke dalam lereng dan mendorong massa tanah untuk longsor.

Secara umum terdapat dua tipe hujan pemicu longsoran di Indonesia, tipe hujan deras adalah hujan yang dapat mencapai 70 mm/jam atau lebih dari 100 mm/hari. Hujan ini hanya akan efektif memicu longsoran pada lereng-lereng yang tanahnya mudah menyerap air (Premchit, 1995 dalam Karnawati, 2001), misalnya pada tanah lempung pasir dan tanah pasir dan tipe hujan normal adalah hujan yang kurang dari 20 mm/hari. Hujan ini apabila berlangsung selama beberapa minggu hingga bulan dapat efektif memicu longsoran pada lereng yang tersusun oleh tanah yang lebih kedap air, misalnya lereng dengan tanah lempung, lanau atau lempung pasir (Karnawati, 2001).

2.2 Sifat bambu petung

Whipkey dan Kirby (1978) memberikan gambaran kondisi hidrologi lereng yang menyebabkan kelongsoran. Kondisi hidrologi lereng setelah hujan terjadi dengan durasi yang panjang akan meningkatkan derajat kejenuhan pada lapisan yang permeable, karena proses penjenuhan yang bergerak ke arah permukaan tanah. Recharge dari bagian atas lereng menyebabkan kondisi semakin buruik, tekanan air di lereng bagian bawah akan meningkat dengan cepat, kondisi inilah yang menghasilkan kelongsoran lereng.

Infiltrasi air hujan berpengaruh terhadap perubahan kondisi hidrologi lereng yaitu perubahan muka air tanah yang menyebabkan perubahan tekanan air pori, kadar air dalam tanah, tingkat kejenuhan dan *suction* antar butir tanah.

Proses terjadinya longsoran yang dipicu oleh hujan menurut Gostelow (1991) melalui beberapa tahapan yaitu :

1. Proses turunnya hujan deras
2. Proses infiltrasi air hujan ke dalam lereng
3. Naiknya permukaan air tanah dalam lereng dan terjadi penurunan kekuatan/tahanan geser tanah
4. Terjadi keruntuhan dan perpindahan massa sepanjang bidang gelincirnya.

2.3 *Simple and Efficient Two Dimensional Grounwater Flow and Slope Stability Analysis (SEFSLOPE)*

SEFSLOPE adalah kombinasi program SEFTRANS dan GEOSTAR, metode yang

digunakan adalah finite elemen dengan bahasa FORTRAN. Untuk pengoperasiannya menggunakan MS-DOS.

a. SEFTRANS

SEFTRANS dapat digunakan untuk mensimulasikan aliran air tanah dalam skala 2 dimensi baik dalam kondisi *saturated* atau *unsaturated*, dan juga untuk kondisi *steady* atau *unsteady*.

Persamaan 1 yang digunakan untuk menggambarkan aliran air tanah dalam 2 dimensi untuk kondisi *saturated* dan *unsteady* :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(b.k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(b.k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = (S_y + b.S_s) \frac{\partial h}{\partial t} \dots (1)$$

b. GEOSTAR

GEOSTAR menganalisis stabilitas lereng dengan berdasarkan prinsip keseimbangan batas (*limit equilibrium method*). Dalam analisisnya menggunakan metode irisan dengan teori Janbu. Metode Janbu lebih fleksibel penggunaannya baik untuk bidang longsor *circular* atau *non circular* (gabungan bidang longsor lingkaran dan bidang datar).

3. Metode Penelitian

3.1 Penelitian lapangan

Data-data lapangan yang diperlukan pada penelitian ini adalah data kondisi topografi, geologi, longsoran yang terjadi pada lereng-lereng, baik mengenai longsoran yang pernah terjadi atau sedang bergerak meliputi bentuk bidang longsor dan penyebarannya serta kondisi hidrologi lereng, yaitu mengenai kondisi kedalaman muka air tanah, rembesan-rembesan air tanah pada permukaan lereng serta kondisi hidrologi disekitarnya dan tata guna lahan.

3.1 Penelitian laboratorium

Penelitian laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data sifat fisik dan mekanik tanah penutup lereng. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi ;

- a. jenis tanah penutup lereng,
- b. sifat-sifat indeks tanah meliputi ; kadar air (w), %, berat volume/isi (γ), kN/m³, angka pori (e), berat jenis (G_s), koefisien permeabilitas (k_s), m/detik, batas-batas *atterberg* yaitu batas cair (LL), batas plastis (PL) dan indeks plastis (PI), digunakan untuk klasifikasi jenis tanah,
- c. Sifat mekanik/ketektikan meliputi ; parameter kuat geser yaitu kohesi (c), kN/m³ dan sudut

gesek dalam (ϕ)^o, uji yang dilakukan adalah menggunakan geser langsung (*Direct Shear*) dan sifat-sifat *suction* menggunakan pengujian *pressure plate* pada sampel tanah.

3.3 Tahapan analisis data

a. Pemodelan hidrologi lereng

Data-data masukan untuk pemodelan hidrologi lereng meliputi :

- 1) Sifat-sifat tanah penutup lereng : koefisien permeabilitas arah x dan y, K_x dan K_y (m/detik), *spesifik storage* (S_s), m^{-1} , porositas (n) dan parameter *suction* yaitu α , β dan γ serta parameter a dan b,
- 2) Kondisi awal lereng : posisi dan *head* untuk mendefinisikan letak muka air tanah (m) dan posisi dan nilai *flux* untuk mendefinisikan intensitas hujan yang terjadi.

b. Analisis Stabilitas lereng

Data-data masukan untuk analisis kestabilan lereng pada program ini adalah :

- 1) Geometri lereng meliputi tinggi dan panjang lereng
- 2) Sifat fisik material penutup lereng meliputi : kohesi efektif c' (kN/m²), sudut gesek dalam efektif (ϕ), berat volume basah (kN/m³), nilai berat volume dihitung berdasarkan data tingkat kejenuhan yang diperoleh dari hasil pemodelan hidrologi lereng, angka pori, berat jenis (G_s), nilai tekanan air pori setiap elemen yang diperoleh dari hasil pemodelan hidrologi lereng

4.1 Hasil dan Pembahasan

4.1 Kondisi fisik dan geologi daerah penelitian

Jalan ini terbentang pada topografi pegunungan, hampir seluruh badan jalan melalui lereng-lereng bukit yang relatif curam. Dari data hujan tahun 1981 sampai 1998, hujan harian rata-rata adalah 20 mm/hari.

Kondisi geologi pada jalan ini di bagi dalam 3 kelompok dan. Pembagian tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

4.2 Pengaruh hujan terhadap kestabilan lereng

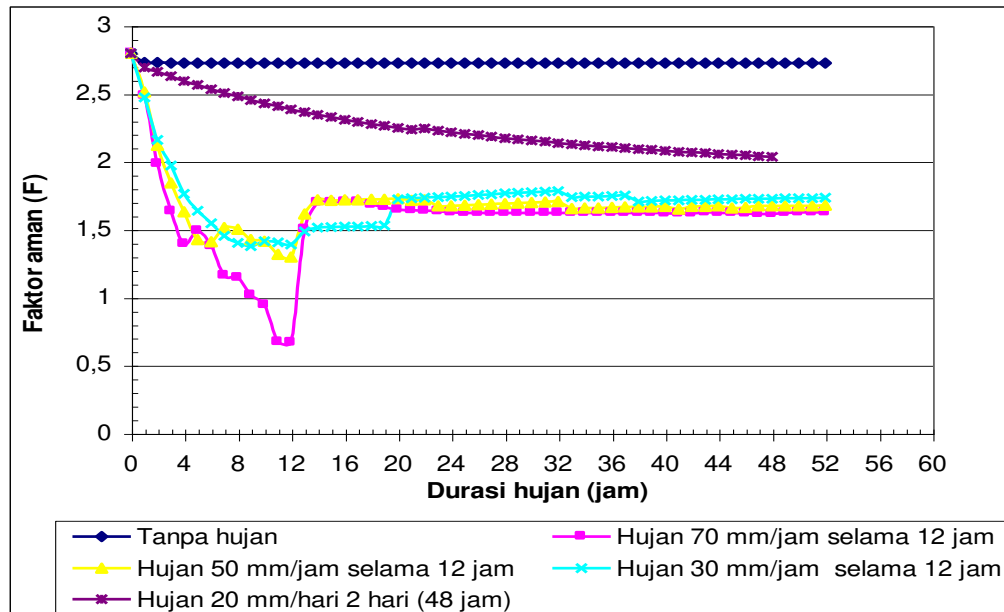
4.2.1 Pengaruh intensitas hujan

Gambar 2 memperlihatkan grafik pengaruh hujan terhadap perubahan faktor keamanan (F) lereng hal ini menunjukkan tingkat kestabilan lereng selama hujan atau setelah hujan berhenti, hujan 70 mm/jam yang berlangsung selama 12 jam, lereng longsor setelah hujan berlangsung 10 jam, hujan 50 mm/jam dan 30 mm/jam, setelah berlangsung selama 12 jam lereng masih stabil. Dan untuk hujan 20 mm/hari yang berlangsung selama 2 hari lereng masih stabil. Hujan 50 mm/jam lereng longsor setelah hujan selama 18 jam. Dan hujan 30 mm/jam walaupun telah berlangsung selama 24 jam lereng masih stabil.

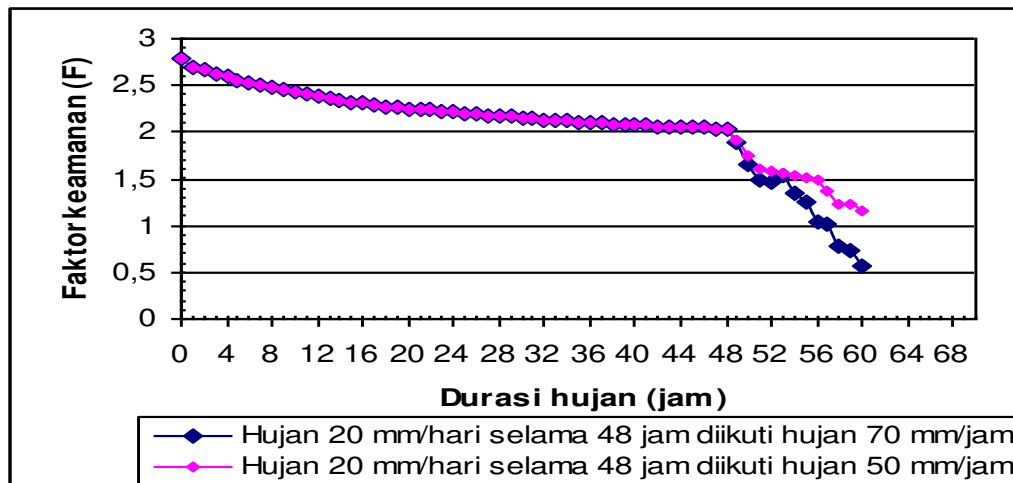
Semakin rendah intensitas hujan penurunan nilai F semakin lebih rendah dan setelah hujan berhenti nilai faktor aman meningkat kembali. Hal ini menunjukkan bahwa setelah hujan berhenti, kestabilan lereng akan meningkat kembali.

Tabel 1. Kondisi geologi pada jalan Tawaeli-Toboli

Umur Geologi	Formasi	Geologi	Distribusi	Keterangan
Holocene	Alluvium	Pasir, lempung dan gravel <i>unconsolidated</i>	1 km 100 – 6 km 500 44 km 300 – 45 km 418	Alluvium terdistribusi pada dataran rendah dekat Tawaeli dan Toboli.
Miocene	Formasi Selebes	Sandstone Conglomerat Mudstone	6 km 500 – 15 km 300	Formasi ini termasuk <i>weakly consolidated</i> dan diklasifikasikan sebagai material antara tanah dan batuan lunak
Palaeogene Period	Batuan Metamorf	Schist Gneiss	Schist : 16 km – 27 km 32 km – 35 k m700 Gneiss : 15 km 300 – 16 km 27 km – 31 km 35 km 700 – 44 km 300	Schist terdistribusi pada sisi Tawaeli dan Gneiss pada sisi Toboli



Gambar 1. Penurunan Faktor Keamanan (FK) terhadap variasi intensitas hujan

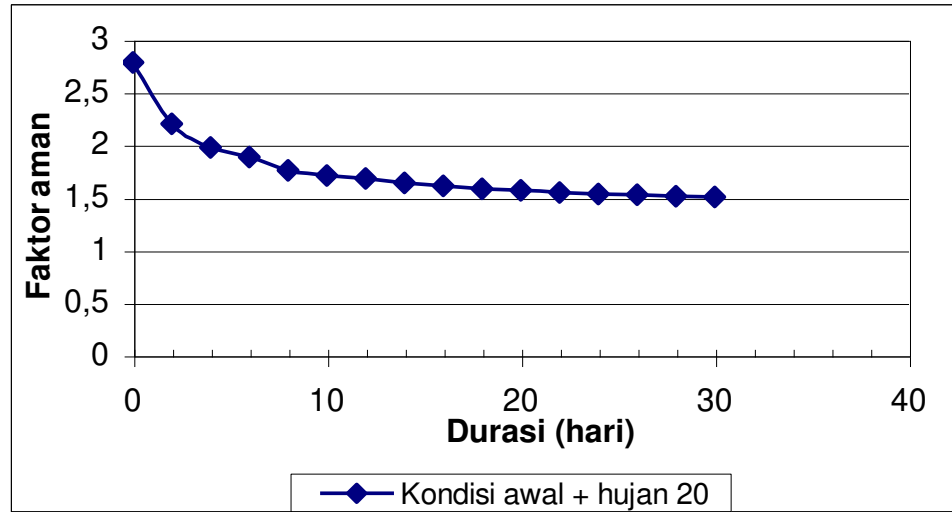


Gambar 2. Perubahan Faktor Keamanan akibat *antecedent rainfall* (hujan 20 mm/hari selama 48 jam diikuti hujan 70 mm/hari dan 50 mm/jam)

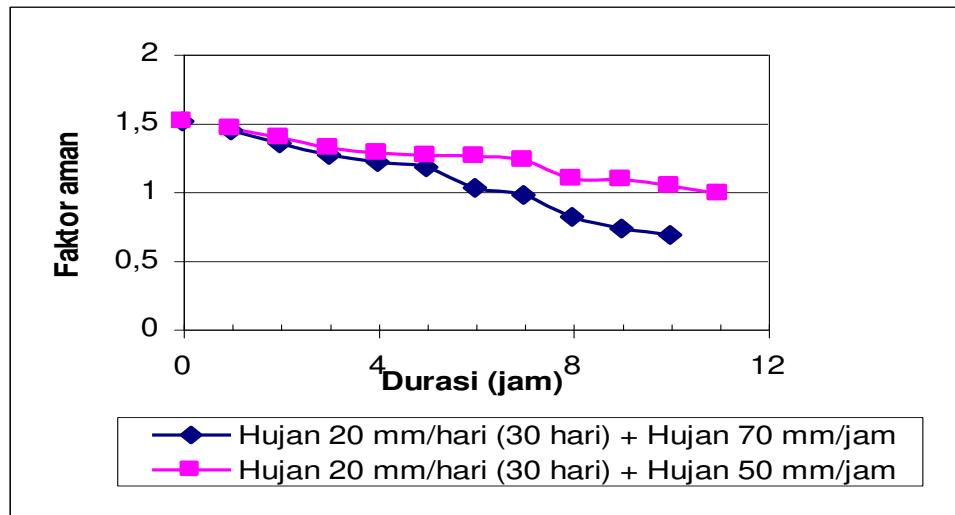
c *Antecedent rainfall*

Penurunan kestabilan lereng yang dipicu oleh *antecedent rainfall* diperlihatkan pada gambar 2 dan 3. Penurunan kestabilan lereng saat hujan 20 mm/hari berlangsung selama 48 jam lebih lambat dibandingkan ketika diikuti oleh hujan 50 mm/jam atau 70 mm/jam dan longsor terjadi setelah hujan 70 mm/jam berlangsung selama 10 jam dan hujan 50 mm/jam selama 12 jam, lereng masih stabil. Tetapi ketika hujan 20 mm/hari berlangsung 30

hari yang kemudian diikuti hujan 70 mm/jam, terjadi setelah hujan selama 7 jam dan diikuti hujan 50 mm/jam longsor terjadi setelah hujan selama 11 jam (gambar 4). Hal ini menunjukkan bahwa ketika musim hujan telah berlangsung 1 bulan bukan hanya hujan 70 mm/jam saja yang berpotensi memicu terjadinya longsoran tetapi hujan 50 mm/jam semakin berpotensi juga.



Gambar 3. Perubahan Faktor Keamanan (FK) lereng akibat hujan 20 mm/hari selama 30 hari



Gambar 4. Penurunan Faktor Keamanan akibat *antecedent rainfall* (hujan 20 mm/hari selama 30 hari diikuti hujan 70 mm/jam dan hujan 50 mm/jam)

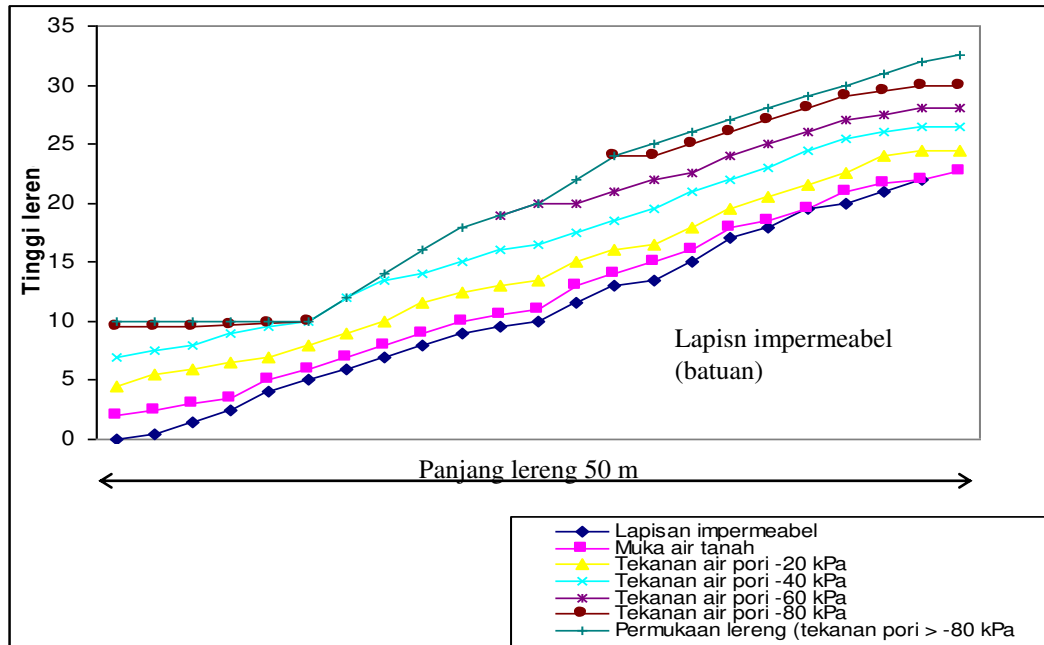
c Distribusi tekanan air pori

Gambar 5 memperlihatkan distribusi tekanan air pori dan letak muka air tanah kondisi hidrologi lereng awal, nilai tekanan air pori adalah negatif (*suction*) berkisar 0 sampai -100 kPa dan faktor aman (F) awal (sebelum hujan) adalah 2,79, hal ini menunjukkan bahwa kondisi lereng tidak jenuh, terutama pada bagian permukaan lereng nilai *suction* sangat tinggi. Tekanan air pori pada batas muka air tanah adalah sam dengan nol. Pada lapisan impermeabel tidak timbul tekanan air pori karena lapisan terdiri dari material batuan.

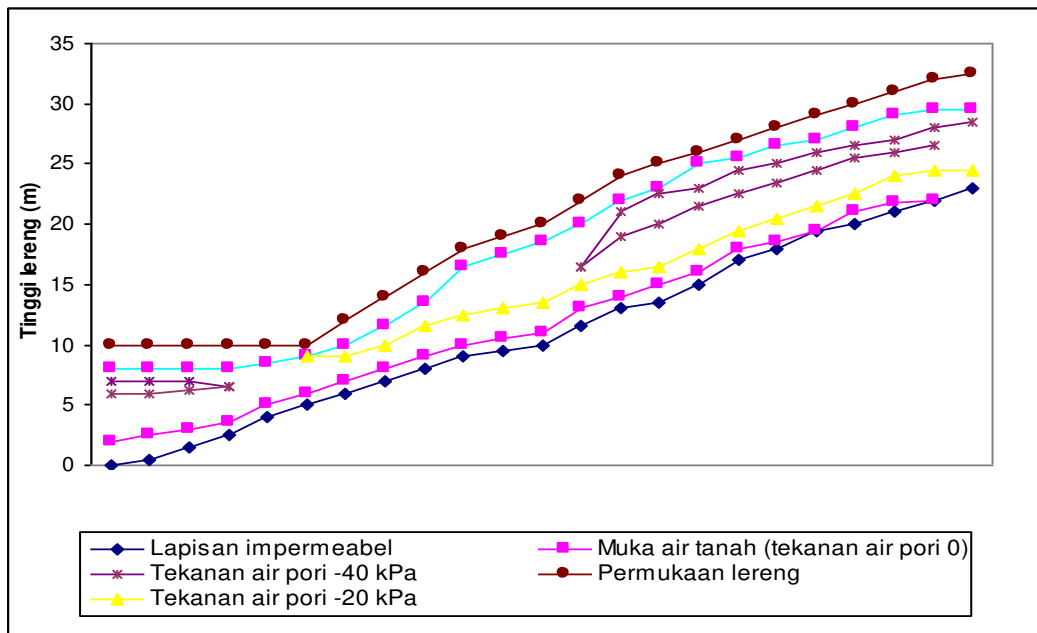
Gambar 6 memperlihatkan kondisi hidrologi lereng saat longsor setelah hujan 70 mm/jam selama 10 jam, hasil analisis stabilitas lereng diperoleh faktor aman $F = 0,942$, nilai *suction* (tekanan air pori negatif) pada permukaan lereng berkurang bahkan hilang dan berubah menjadi 0 (nol). Terjadi perubahan pola distribusi tekanan air pori dari kondisi awal (gbr 5). Akibat infiltrasi air hujan ke dalam lereng kondisi lereng yang awalnya tidak jenuh berangsur-angsur berubah menjadi jenuh, perubahan ini mengakibatkan tekanan air pori negatif menjadi berkurang nilainya dan pada

akhirnya menjadi nol. Tekanan air pori negatif (suction) pada lereng merupakan gaya yang dapat meningkatkan tahanan geser pada lereng, sehingga saat nilai *suction* menurun maka tahanan geser yang

terjadi juga menurun akibatnya kestabilan lereng juga menurun, hal ini ditunjukkan dengan nilai faktor aman < 1 maka lereng telah longsor.



Gambar 5. Distribusi tekanan air pori pada lereng kondisi awal



Gambar 6. Distribusi tekanan air pori dalam lereng setelah hujan 70 mm/jam selama 10 jam

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pemodelan hujan dan analisis pengaruhnya terhadap kestabilan lereng diperoleh hasil sebagai berikut :

- a. hujan 70 mm/jam yang berlangsung selama 10 jam menyebabkan lereng longsor, faktor keamanan turun menjadi 0,94 dimana sebelum hujan (awal) faktor keamanan 2,7942,
- b. untuk hujan 50 mm/jam longsor terjadi setelah hujan berlangsung selama 18 jam, faktor keamanan turun menjadi 0,98
- c. hujan 30 mm/jam yang berlangsung selama 24 jam kondisi lereng masih stabil,
- d. Sedangkan untuk hujan 20 mm/hari yang berlangsung selama 1 bulan kondisi lereng juga masih stabil.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa hujan yang sangat berpotensi menyebabkan longsor adalah tipe hujan intensitas tinggi yaitu 70 mm/jam.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pemodelan dan analisis stabilitas lereng dengan meninjau pengaruh kemiringan lereng.
2. Pemodelan lereng secara regional (pada penelitian ini hanya lokal yaitu lereng yang berada disepanjang jalan) perlu dilakukan untuk melihat pengaruh hujan terhadap hidrologi lereng dan kestabilan lereng secara keseluruhan (profil bukit).

6. Daftar Pustaka

- Abramson, L.W., et.al.,1996, *Slope Stability and Stabilization Methods*, John and Wiley & Sons. Inc., New York.
- Bear, J., 1979, *Hidraulics of ground water*, McGraw-Hill Int. Book Company, London.
- Domenico, P.A., 1972, *Concepts and Model In Groundwater Hidrology*, McGraw-Hill Inc. Book Company, New York.
- Fredlund, D.G., and Rahardjo, H., 1993, *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*, John and Wiley Sons. Inc.,New York.
- Feasibility Study for Tawaeli-Toboli Road volume III*, 1998, Pasific Consultants International Yachiyo Engineering CO.,LTD.
- Gostelow, T.P., 1991, *Rainfall and Landslide., Prevention and Control of Landslide and Other Movement*, eds. Almeida-Taxeira M.E.,et al., Commission of the European Communities, Report EUR 12918 EN.
- Houston, S.L., Fredlund, D.G., 1997, *Unsaturated Soil Engineering Practice*, Geotechnical Special Publication No 68, New York.
- Karnawati, D., 1996, *Rain-Induced Landslide Problems in West Java*, Media Teknik No. 3 XVIII Edisi November, Yogyakarta
- Karnawati, D., 1997, *Prediction of Rain-Induced Landsliding by Using Slope Hydrodynamic Numerical Model*, Forum Teknik Jilid 20 No.1 Januari , UGM, Yogyakarta.
- Kirby, M.J., 1978, *Hillslope Hidrology*, John Wiley and Sons Ltd , New York.
- Oxford Geotechnica International, 1995, *A Simple and Efficient Two Dimensional Groundwater Flow and Transport Model*, Oxford.
- Oxford Geotechnica International, 1995, *GEOSTAR*, Oxford.
- Selby,M.J., 1993, *Hillslope Material and Processes*, Second Edition, Oxford University Pers, Oxford.
- Skempton, A.W., and Hutchinson, J.N., 1969, *Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations*, *Proceedings of 7th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico, pp. 291-335.
- Van Genuchten, M.Th.,1980, *A Closed-form Equation for Predicting the Hidraulic Conductivity of Unsaturated Soils*, *Journal of Soil Science Social of America*, Vol 44 No.5, pp 892-898.