

INFRASTRUKTUR

ANALISIS PERUBAHAN HIDROLOGI LERENG AKIBAT HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG

Analysis Change of Slope Hidrology Result of The Rainfall To The Slope Stability

Martini

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118, Email: martini@yahoo.com

Sriyati Ramadhani

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

ABSTRACT

infiltration of rainfall into slope will have an effect on to condition of slope hydrology and more specifically to characteristic of slope soils, for example pore water pressure value, level of saturation, weight contents of soil, shear strength of soil. Change of that aspect will influence to the characteristic of slope soils, example weight content, cohesion, internal friction and shear strength of soil. Change of water level will affect increase of level saturation and pore water pressure. Pore water pressure value at dry soil condition or wet condition called as with pore water pressure value negative or value suction. This suction value will tend to declines and in the end becomes equal to zero or bigger than 0 (positive pore water pressure) in the event of change of the water content from condition unsaturated to saturated condition. This condition will influences to the stability of slope because cohesion, internal friction and shear strength. Change of hydrology and slope stability influences of rain intensity, shear strength, water level condition and permeability of soil slope

Keywords : rainfall, hydrology change, slope stability

ABSTRAK

Infiltrasi air hujan ke dalam lereng akan berpengaruh terhadap kondisi hidrologi lereng misalnya perubahan muka air tanah, tingkat kejemuhan, tekanan air pori. Perubahan dari aspek tersebut akan berpengaruh terhadap sifat tanah penutup lereng, misalnya nilai berat isi tanah, kohesi, sudut gesek dan kuat geser tanah. Perubahan muka air tanah akan meningkatkan tingkat kejemuhan tanah serta meningkatkan nilai tekanan air pori positif. Nilai tekanan air pori pada kondisi tanah dalam kondisi kering atau basah disebut dengan nilai tekanan air pori negatif atau nilai suction. Nilai suction ini akan cenderung menurun dan pada akhirnya menjadi sama dengan nol atau lebih besar dari 0 (tekanan air pori positif) apabila terjadi perubahan kadar air dalam tanah dari kondisi tidak jenuh menuju jenuh. Pada kondisi inilah yang akan berpengaruh terhadap tingkat kestabilan lereng tersebut karena nilai kohesi dan sudut gesek menurun yang berakibat penurunan kekuatan geser tanah. Perubahan hidrologi dan kestabilan lereng dipengaruhi oleh intensitas hujan, kuat geser tanah, kondisi muka air tanah dan tingkat permeabilitas tanah penutup lereng.

Kata Kunci : hujan, perubahan hidrologi, kestabilan lereng

PENDAHULUAN

Dari hasil-hasil penelitian mengenai peristiwa longsoran, longsoran sering terjadi terutama pada musim hujan. Terjadinya longsoran biasanya diawali dengan turunnya hujan deras. Longsoran terjadi pada saat sedang hujan atau setelah hujan berhenti. Perubahan kondisi hidrologi lereng saat terjadi infiltrasi air hujan sulit untuk diamati secara langsung di lapangan, terutama pada saat terjadi longsoran.

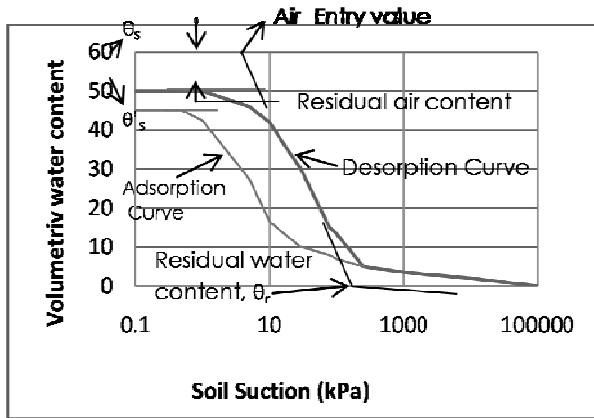
Perubahan kondisi hidrologi lereng dari kondisi tidak jenuh menjadi jenuh, berakibat perubahan nilai tekanan air pori negatif (suction) menjadi tekanan air pori positif. Perubahan nilai

tekanan air pori dalam lereng akan berpengaruh pada kestabilan lereng. Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui perubahan hidrologi pada lereng akibat infiltrasi air hujan terhadap kestabilan lereng, serta untuk mengetahui pola perubahan distribusi tekanan air pori pada beberapa intensitas hujan dan tingkat permeabilitas tanah penutup lereng.

a. Soil - water characteristic curve

Soil-water characteristic curve juga dikenal dengan istilah soil – water retention yaitu kurva yang menggambarkan kemampuan tanah untuk menyimpan dan melepaskan air dan digambarkan dalam hubungan kadar air dan suction. Semakin tinggi suction maka volume air dan tingkat

kejemuhan semakin rendah. Sebaliknya semakin rendah suction, volume air dan tingkat kejemuhan semakin tinggi. Soil-water characteristic curve diperoleh melalui test pressure plate. Gambar 1 memperlihatkan bentuk dan variabel-variabel yang ada pada soil-water characteristic curve



Gambar 1. Definisi variabel-variabel yang terdapat pada *soil-water characteristic curve*

b. Hubungan Suction dan Koefisien permeabilitas

Kemampuan fluida mengalir melalui medium berpori disebut permeabilitas. Untuk masalah geoteknik, fluida adalah air dan medium yang berpori adalah massa tanah. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan lainnya. Sehingga air dapat mengalir dari titik yang mempunyai energi lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi lebih rendah.

Dalam tanah jenuh koefisien permeabilitas nilainya konstan. Hal ini terjadi karena dalam tanah jenuh, kadar airnya jumlahnya konstan/tetap. Biasanya disebut sebagai saturated permeability (k_s). Saturated permeability tanah dapat diperoleh dengan melakukan pengujian di laboratorium memakai metode constan atau falling head.

Koefisien permeabilitas untuk tanah tidak jenuh (unsaturated permeability, k_w) nilainya tidak konstan dan lebih kecil dari saturated permeability (k_s). Besarnya merupakan fungsi dari kadar air dan juga fungsi dari tekanan air pori. Bila tekanan air pori dalam tanah berkurang menjadi negatif, maka kadar airnya juga akan berkurang dan akhirnya koefisien permeabilitasnya juga berkurang dan pada akhirnya nilai tekanan air pori menjadi negative (suction). Dengan kata lain semakin tinggi matric suction maka koefisien permeabilitasnya semakin rendah. Sebaliknya semakin rendah matric suction maka koefisien permeabilitasnya semakin tinggi. Pada saat suction menjadi nol, koefisien

permeabilitasnya menjadi konstan karena kondisi tanah sudah jenuh.

Koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh dapat ditentukan dari kurva soil-water characteristic. Beberapa persamaan empirik telah dikembangkan untuk mendapatkan hubungan antara koefisien permeabilitas dengan volume air atau tingkat kejemuhan dalam tanah. Yaitu oleh Gardner (1958), Brook dan Corey (1964) dan Van Genuchten (1980).

Genuchten (1980) memberikan persamaan untuk menghitung relatif koefisien permeabilitas, kr ;

$$kr(h) = \frac{\left\{ 1 - (\alpha h)^{n-1} [1 + (\alpha h)^n]^{-m} \right\}^2}{[1 + (\alpha h)^n]^{m/2}} \quad (1)$$

dengan ; kr adalah relatif koefisien permeabilitas (rasio antara k_w dan k_s), h adalah pressure head, , m , n adalah parameter konstan yang diperoleh dari kurva.

c. Aliran Air Tanah Jenuh (saturated) dan Tidak Jenuh (unsaturated)

Tiga tipe pergerakan air yang terjadi dalam tanah adalah aliran jenuh (saturated flow), aliran tidak jenuh (unsaturated flow) dan pergerakan uap (vapour). Aliran air tanah merupakan gambaran gradien total potensial air dari satu zona tanah ke zona tanah lainnya.

Aliran air tanah jenuh terjadi bila seluruh pori-pori tanah terisi oleh air, dan terjadi pada arah horisontal, vertikal ke atas dan ke bawah bila ada gradien tekanan. Pada kondisi ini tekanan potensialnya adalah positif. Daerah jenuh biasanya terletak pada daerah yang mempunyai drainase jelek dan berada pada tempat yang rendah, pada daerah dengan drainase yang baik namun berada di atas lapisan lempung, serta pada tanah-tanah bagian atas saat atau setelah hujan deras.

Aliran air tanah tidak jenuh adalah kondisi normal yang terjadi pada hampir semua tanah di alam sepanjang waktu. Ciri dari kondisi ini adalah tidak ada gradien hidraulik, tidak ada air dalam pori-pori tanah yang berukuran besar, tetapi air hanya terdapat pada pori-pori tanah yang berukuran kecil. Hal ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi sehingga air yang ada merupakan air serapan dan gaya kapiler. Dalam tanah tidak jenuh gradien matric potensial dari satu zona ke zona lainnya merupakan pendorong terjadinya pergerakan air. Air mengalir melalui lapisan-lapisan air serapan dan pori-pori kapiler, air cenderung untuk seimbang dan bergerak dari zona dengan potensial tinggi ke zona potensial rendah dan prosesnya sangat lambat. Koefisien permeabilitas pada kondisi tidak jenuh

akan berubah-ubah seiring dengan perubahan tingkat kejemuhan yang terjadi.

Perubahan dari kondisi jenuh ke tidak jenuh umumnya memerlukan penurunan koefisien permeabilitas. Pada saat suction tinggi atau nilai pembasahan menjadi rendah, permeabilitas mungkin akan menjadi sangat rendah

d. Infiltrasi hujan

Infiltrasi dapat didefinisikan sebagai proses masuknya air ke dalam tanah. Kapasitas infiltrasi (infiltration capacity) adalah volume maksimum air yang masuk dari permukaan tanah (dalam satuan kecepatan). Laju infiltrasi (infiltration rate) adalah volume dari air yang melewati permukaan tanah dan mengalir dalam profil tanah. Laju infiltrasi ditentukan oleh banyaknya air yang tersedia pada permukaan tanah, sifat dari permukaan tanah, kemampuan tanah untuk mengalirkan infiltrasi air dari permukaan.

Kemampuan tanah untuk melewatkannya tergantung pada ukuran, jumlah dan hubungan antar pori serta perubahan dalam ukuran akibat sifat kembang susut mineral lempung pada saat pembasahan. Tanah yang mendekati kering mempunyai kapasitas infiltrasi awal yang lebih tinggi dibanding dengan tanah-tanah yang mempunyai kadar air tinggi.

Efek dari laju infiltrasi hujan adalah hilangnya suction dalam zona tidak jenuh, perubahan tekanan air pori serta menurunnya kekuatan geser tanah. Kapasitas infiltrasi biasanya berkurang apabila kondisi :

- permukaan tanah yang jenuh disebabkan oleh penurunan gradien hidraulik dekat permukaan tanah. Hal ini dapat terjadi setelah periode hujan yang panjang, dan kondisi lapisan tanah yang berada di bawah permukaan mempunyai permeabilitas yang rendah. Juga aliran air yang berasal dari lereng bagian atas,
- permukaan tanah berubah. Mineral lempung mengurangi ukuran pori bila mengembang, terutama yang dekat dengan permukaan karena tekanan overburden pada tanah relatif ringan. Penghilangan tanaman penutup, pekerjaan-pekerjaan manusia, binatang dan mesin dapat merubah struktur permukaan.

Mein dan Larson (1973) memperlihatkan laju infiltrasi air hujan ke dalam tanah tidak jenuh sebagai fungsi dari waktu dengan kondisi yang berbeda-beda seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.

Kurva A memperlihatkan hubungan antara flux atau intensitas hujan yang konstan dan lebih kecil dari koefisien permeabilitas jenuh. Laju infiltrasi sama dengan intensitas hujan bila kapasitas

infiltrasi minimum dari tanah sama dengan koefisien permeabilitas dan gradien hidraulik kurang dari 1.

Kurva B menggambarkan laju infiltrasi dengan kondisi terjadi ponding atau pressure head pada permukaan tanah sama dengan nol. Infiltrasi awal lebih besar dari saturated koefisien permeabilitas. Hal ini terjadi karena tajamnya gradien hidraulik ke arah bawah yang disebabkan oleh nilai suction pada permukaan adalah nol. Laju infiltrasi akan berkurang seiring dengan berjalannya waktu, karena air terus-menerus masuk ke dalam tanah dan menyebabkan matric suction awal tanah menjadi hilang. Dengan kata lain proses pembasahan menyebabkan berkurangnya matric suction pada tanah serta perubahan gradien pressure head. Semakin ke bawah gradien hidraulik yang vertikal berubah seiring dengan berjalannya waktu sebagai akibat proses infiltrasi. Pada akhirnya laju infiltrasi akan mencapai nilai minimum yaitu sama dengan saturated koefisien permeabilitas dari tanah.

Kurva C dan D memperlihatkan kondisi dengan hujan yang konstan namun intensitasnya melebihi saturated koefisien permeabilitas dari tanah. Laju infiltrasi sama dengan intensitas hujan pada saat mulai hujan. Karena air terus-menerus masuk ke dalam tanah, akhirnya suction dan gradien hidraulik menjadi turun yang akhirnya laju infiltrasi juga akan menurun pada suatu waktu (t). t adalah waktu yang diperlukan untuk penurunan laju infiltrasi dari kurva C ke D berhubungan dengan ponding pada permukaan tanah. Run off bisa terjadi pada kondisi ini jika permukaan tidak ada drainase

e. Penyebab-penyebab terjadinya longsoran

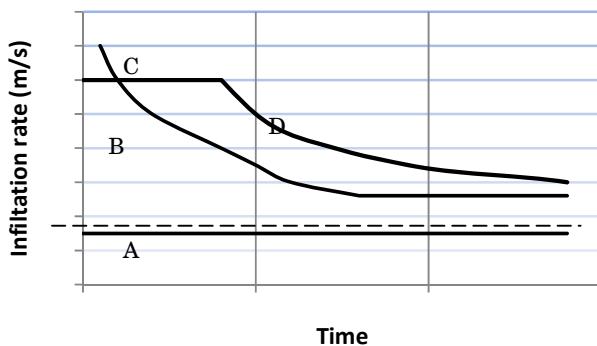
Menurut Hunt (1986, dalam Karnawati, 1991), menjelaskan hampir semua longsoran pada lereng-lereng alam terjadi setelah turun hujan deras pada musim hujan, penyebabnya adalah muka air tanah naik dan akibatnya menurunkan tahanan geser serta meningkatkan gaya geser pada tanah dan akhirnya terjadi gerakan massa/longsor.

Gerakan tanah dipengaruhi oleh arah dan besarnya gradien hidrolik, serta dipengaruhi oleh meningkatnya tekanan pori akibat infiltrasi air hujan (Iverson dan Mayor, 1987, dalam Karnawati, 1991).

Di Indonesia longsoran tanah/batuannya umumnya terjadi karena :

- kondisi morfologi yang berlereng curam,
- adanya bidang lemah yang miring searah kemiringan lereng dimana bidang lemah ini biasanya merupakan : bidang kontak antara tanah atau hasil pelapukan batuan yang menunjang diatas batuan dasar yang lebih segar, bidang lapisan batuan dan bidang kekar (kekar) pada batuan,

- curah hujan yang tinggi (misal 70 mm/jam) ataupun curah hujan yang tidak begitu tinggi (misal 20 mm/jam) tetapi berlangsungnya secara terus-menerus selama beberapa jam,
- kondisi hidrologi lereng, muka air tanah dalam lereng yang meningkat dengan cepat dapat mengakibatkan penurunan kuat geser tanah/batuhan dan akhirnya terjadi gerakan massa (longsoran),



Gambar 2. Hubungan laju infiltrasi ke dalam tanah dengan kondisi yang berbeda-beda sebagai fungsi waktu (Mein dan Larson, 1973).

Kondisi-kondisi yang ada di alam ternyata dapat mempengaruhi kestabilan tanah/batuhan pada lereng. Kondisi-kondisi tersebut misalnya, kohesi dan sudut gesek dalam (nilai ini besarnya tergantung pada jenis tanah/batuhan pada lereng), berat massa tanah (nilai ini tergantung pada jenis massa atau berat isi tanah), sudut kemiringan lereng yang dikontrol oleh bentuk lahan atau morfologi suatu daerah, tekanan air pori yang dikontrol oleh kedudukan muka air tanah pada lereng (pada umumnya di Indonesia kenaikan tekanan air pori ini terjadi akibat infiltrasi air hujan), faktor eksternal seperti gempa bumi.

METODE PENELITIAN

Dalam pemodelan hidrologi lereng dan analisis kestabilan lereng ada beberapa batasan dan asumsi yaitu :

1. pemodelan hidrologi lereng untuk kondisi awal (tanpa hujan) dan saat ada hujan memakai program SEFTRANS (Simple and Efficient Flow and Transport Model), Oxford Geotechnica International, 1995) dan analisis kestabilan lereng menggunakan program GEOSTAR 3.4, Oxford Geotechnica International, 1995,
2. model untuk pemodelan hidrologi dan analisis kestabilan lereng adalah penampang/profil lereng yang di gambarkan

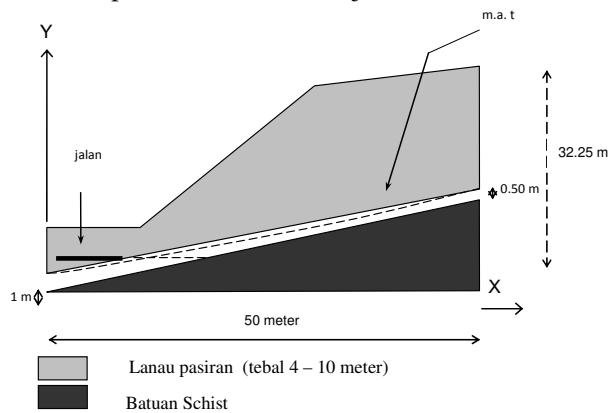
dalam skala 2 dimensi yaitu arah X dan Y, serta diasumsikan kondisi geologi dan material penutup lereng bersifat homogen.

3. pengaruh vegetasi dalam pemodelan hidrologi lereng dan analisis kestabilan dianggap tidak ada,
4. pada kedua program tersebut ada keterbatasan bahwa parameter kuat geser tanah sebagai data masukan nilainya dianggap tetap/konstan

a. Model kondisi hidrologi lereng awal

Tujuan membuat model hidrologi lereng kondisi awal adalah untuk mengetahui gambaran kondisi lereng sebelum hujan dan sebagai model awal pemodelan hujan. Tampilannya adalah berupa letak muka air tanah pada lereng. Muka air tanah dimodelkan sebagai rembesan air yang mengalir di atas permukaan lapisan kedap air (lapisan batuan), dan muka air ini bersifat fluktuatif.

Pada bagian puncak kedalaman muka air tanah dari batas lapisan kedap air (batuan) adalah 0,50 meter sedangkan pada bagian kaki lereng adalah 1 meter. Kondisi ini diasumsikan sebagai muka air pada awal musim hujan.



Gambar 3. Model kondisi awal hidrologi lereng

b. Data masukan (*input*) pada program

Untuk melakukan pemodelan hidrologi diperlukan data masukan mengenai geometri lereng, sifat-sifat tanah atau batuan dalam lereng, baik pada pemodelan kondisi awal hidrologi lereng sebagai kondisi awal pemodelan dan pemodelan hidrologi lereng saat ada hujan. Parameter data-data tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

1. geometri lereng yang terdiri dari tinggi dan panjang lereng. Geometri lereng digambarkan dalam susunan elemen-elemen. Bentuk elemen

- yang digunakan adalah elemen segitiga dan segi empat,
2. sifat-sifat tanah penyusun lereng
 - koefisien permeabilitas jenuh (ks) arah x dan y, K_x dan K_y (m/detik),
 - *spesifik storage* (S_s), m^{-1} ,
 - porositas (n),
 - parameter *suction* yaitu α , β dan γ yang diperoleh dari hubungan *suction* dan tingkat kejenuhan (persamaan 3.7.5),

Tabel 1. Sifat tanah penyusun lereng untuk pemodelan hidrologi dan kestabilan lereng

| Sifat tanah | Satuan | Besarnya | Keterangan |
|-------------------------------------|-------------------|---|--|
| Kohesi (c) | KN/m ² | 7 | Data masukan untuk analisis kestabilan lereng (GEOSTAR) |
| Sudut gesek (ϕ') | (°) | 36,5 | |
| Berat jenis (G_s) | - | 2,652 | |
| Angka pori | - | 1,088 | |
| Berat volume | kN/m ³ | berdasarkan tingkat kejenuhan tanah penyusun lereng | |
| Koefisien Permeabilitas | m/det | 2.7346 E-6 | Data masukan untuk pemodelan hidrologi lereng (SEFTRANS) |
| Porositas (n) | - | 0.5211 | |
| Parameter <i>suction</i> : | | | |
| <i>Air entry value</i> (ψ_a) | m | | |
| Residual water saturation | - | 0,01 | |
| α | | | |
| β | /m | 0,1842 | |
| γ | - | 5,1304 | |
| a | - | 0,73962 | |
| b | - | 0,90291 | |
| | - | -3,0267 | |
| | | 2,95423 | |

c. Hasil keluaran (*output*) pada program

Hasil dari pemodelan ditampilkan dalam bentuk gambar. Tampilannya dapat digambarkan menggunakan kontur, vektor dan pewarnaan. Keluaran program seftrans antara lain : kecepatan Darcy pada arah x dan y, tekanan air pori di pusat setiap elemen,tingkat kejenuhan di setiap elemen,koefisien permeabilitas arah x dan y pada setiap elemen, piezometrik head pada setiap titik, spesifik storage (S_s) pada setiap elemen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kestabilan lereng akibat perubahan hidrologi lereng akibat Hujan

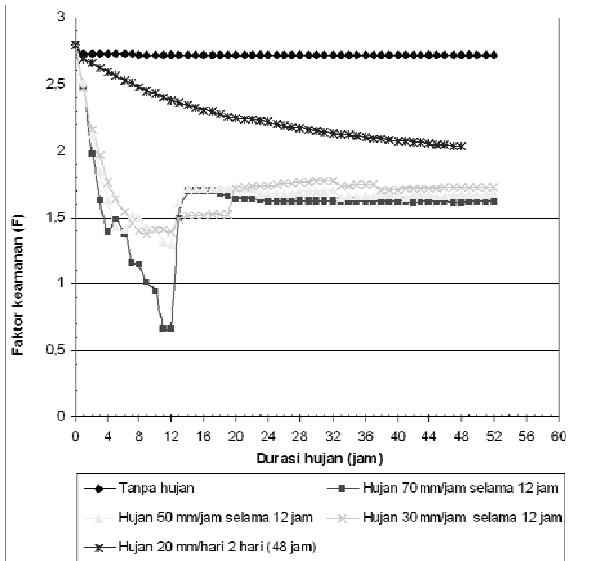
Gambar 4 memperlihatkan grafik hubungan faktor keamanan lereng terhadap waktu pada beberapa variasi intensitas hujan. Hujan 70 mm/jam yang berlangsung selama 12 jam dengan bidang longsor yang sama seperti pada gambar 5.4.2b, lereng longsor setelah hujan 10 jam. Faktor

- parameter relatif koefisien permeabilitas, yaitu parameter a dan b (persamaan 3.7.3),
- 3. memodelkan kondisi hidrologi lereng awal dengan memasukan data
 - posisi dan head untuk mendefinisikan letak muka air tanah awal (m),
- 4. smemodelkan hujan adalah dengan memasukan data
 - posisi dan nilai flux untuk mendefinisikan intensitas hujan yang terjadi.

keamanan (F) pada kondisi awal besarnya 2,79, saat longsor menjadi 0,9423. Untuk hujan intensitas 30 mm/jam dan 50 mm/jam yang berlangsung selama 12 jam, kondisi lereng masih stabil dimana nilai F masih lebih besar dari 1. Dan untuk hujan 20 mm/hari (0,833 mm/jam) yang berlangsung selama 2 hari, lereng masih stabil, dimana faktor keamanan turun menjadi 2,03. Dan dari grafik ini juga terlihat bahwa setelah hujan berhenti terjadi peningkatan kembali nilai faktor keamanan. Hal ini menunjukkan bahwa setelah hujan berhenti, lereng akan menjadi stabil kembali. Karena kondisi lereng tingkat kejenuhan, tekanan air pori positif berkurang akibat pengaliran air ke tempat yang lebih rendah.

Akibat hujan dengan intensitas yang berbeda-beda maka besarnya penurunan kestabilan lereng juga berbeda, sehingga untuk mencapai kondisi kritis memerlukan durasi yang berbeda. Semakin rendah intensitas hujan maka penurunan faktor keamanan semakin kecil. Dari uraian di atas tersebut dapat disimpulkan bahwa hujan intensitas

tinggi dalam hal ini 70 mm/jam cenderung paling berpengaruh dalam menurunkan kestabilan lereng dan memicu terjadinya longsor dibandingkan hujan 50 mm/jam dan 30 mm/jam serta hujan 20 mm/hari (0,833 mm/jam).



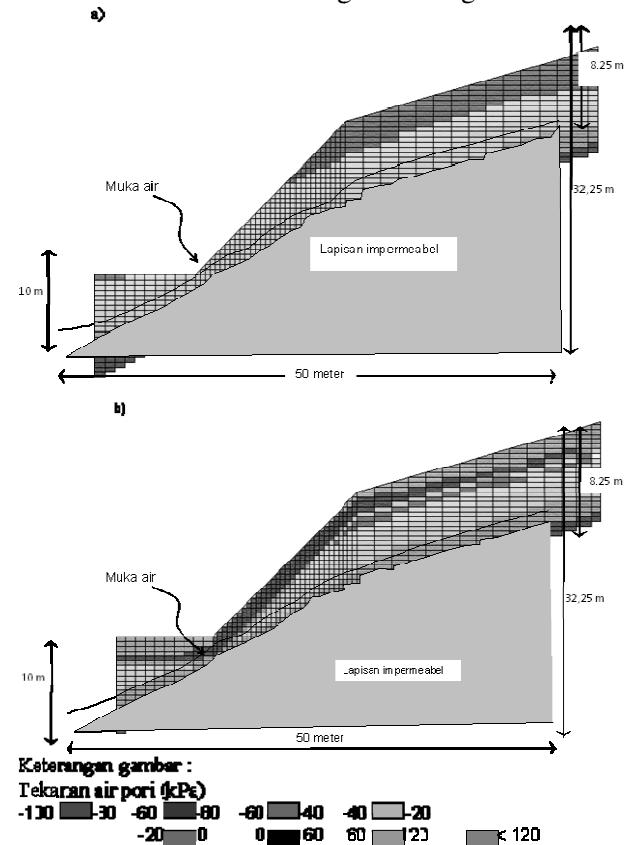
Gambar 4. Hubungan kestabilan lereng (faktor aman) terhadap waktu pada beberapa intensitas hujan

b. Kondisi hidrologi lereng pada lereng kondisi awal dan terjadi longsor

Gambar 5a memperlihatkan kondisi hidrologi lereng awal (kondisi muka air awal). Distribusi tekanan air pori pada kondisi ini adalah 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 sama dengan nol. Pada lapisan impermeabel tidak ada tekanan air pori karena lapisan terdiri dari material batuan sehingga air tidak.

Gambar 5b 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, dan sebagian 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 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 kuat geser lereng juga menurun akibatnya kestabilan lereng juga menurun, hal ini ditunjukkan dengan nilai faktor aman. Bila faktor aman < 1 maka lereng telah longsor.



Gambar 5. Distribusi tekanan air pori pada kondisi a) sebelum hujan (awal), b) setelah hujan 70 mm/jam selama 10 jam (kondisi longsor)

Menurunnya suction dan berubah menjadi tekanan air pori positif bukan karena muka air tanah naik (muka air tanah tetap) tetapi karena masuknya air ke dalam lereng (infiltrasi) dan menaikkan tingkat kejemuhan tanah dalam lereng.

c. Pengaruh sifat-sifat tanah dan Muka air tanah

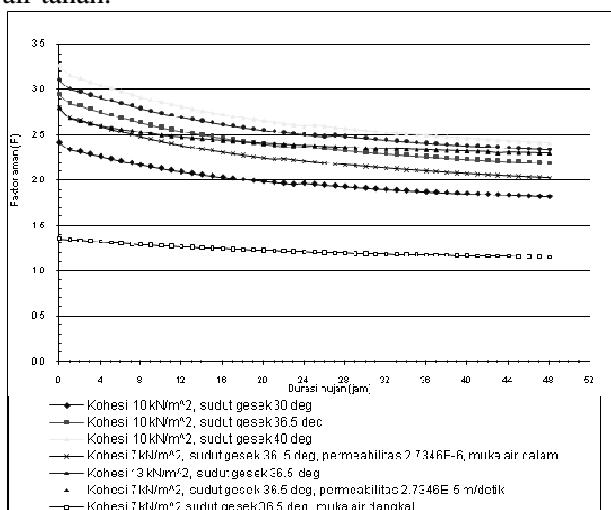
Gambar 6 memperlihatkan penurunan kestabilan lereng terhadap variasi nilai kohesi, sudut gesek dalam, koefisien permeabilitas serta letak muka air tanah dengan hujan yang terjadi adalah hujan 20 mm/hari berlangsung selama 48 jam (2 hari). Nilai kohesi dan sudut gesek dalam semakin besar kestabilan lereng menjadi lebih tinggi, sebaliknya jika kedua parameter ini semakin kecil maka kestabilannya juga semakin rendah

Untuk koefisien permeabilitas $2,7346 \times 10^{-5}$ m/detik, penurunan faktor keamanan lebih lambat dibandingkan dengan koefisien permeabilitas

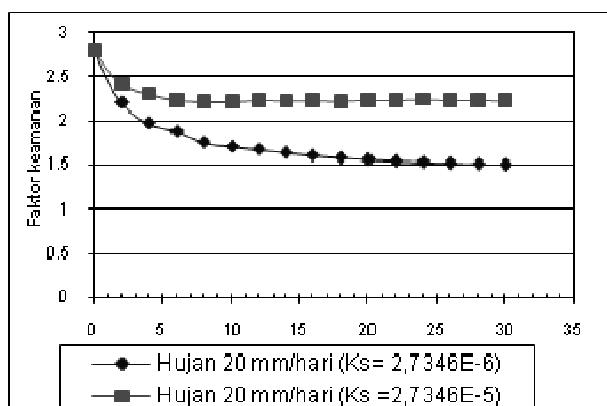
2,7346E-6 m/detik. Hal ini disebabkan karena laju hujan lebih kecil dari permeabilitas (K_s), akibatnya laju infiltrasi ke dalam lereng lebih cepat. Sehingga untuk menjenuhkan lereng membutuhkan waktu yang lebih lama. Sebaliknya pada permeabilitas 2,7346E-6 m/detik, kondisinya adalah laju hujan lebih besar dari tingkat permeabilitas, akibatnya laju infiltrasi ke dalam lereng lebih lambat. Proses penjenuhan akan bergerak dari permukaan lereng dan bila sudah jenuh, penjenuhan akan bergerak ke bawah permukaan dan penjenuhan terjadi bukan karena muka air tanah naik tetapi karena penambahan air akibat proses infiltrasi.

Gambar 6 memperlihatkan kondisi kestabilan lereng yang paling minimum yaitu pada kondisi muka air tanah dangkal tanah. Faktor keamanan awal pada kondisi muka air dalam sebesar 2,79 dan kondisi muka air dangkal sebesar 1,35.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa penurunan kestabilan lereng akibat hujan juga dipengaruhi oleh parameter kuat geser yaitu kohesi dan sudut gesek, koefisien permeabilitas serta kondisi hidrologi dalam hal ini adalah letak muka air tanah.



Gambar 6. Perubahan kestabilan lereng hujan pada beberapa variasi sifat-sifat tanah



Gambar 7. Variasi penurunan faktor keamanan dengan koefisien permeabilitas berbeda.

Gambar 7 memperlihatkan penurunan stabilitas lereng untuk kondisi permeabilitas yang berbeda untuk hujan intensitas rendah (20 mm/hari) selama 30 hari. Trend yang terjadi tidak berbeda dengan yang ditunjukkan pada gambar 5.4.8. Pada permeabilitas yang lebih tinggi penurunan kestabilan lebih lambat daripada permeabilitas rendah

KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

- Perubahan kesatilan lereng karena perubahan hidrologi lereng akibat hujan juga dipengaruhi oleh parameter kuat geser yaitu kohesi dan sudut gesek, koefisien permeabilitas serta kondisi hidrologi dalam hal ini adalah letak muka air tanah.
- Perubahan kondisi hidrologi lereng akibat hujan berpengaruh terhadap penurunan kestabilan lereng karena terjadi penurunan nilai kan oleh hilangnya suction, peningkatan kejenuhan lereng serta penurunan kuat geser tanah.
- Penurunan kestabilan lereng akibat meningkatnya tekanan air pori (positif) akibat naiknya muka air tanah tidak terjadi karena muka air tanah letaknya dalam. Proses penjenuhan pada lereng dengan muka air yang dalam cenderung bergerak dari permukaan lereng menuju ke lapisan jenuh (muka air).

b. saran

Untuk mengetahui perubahan nilai tekanan air pori pada suatu lereng dapat juga dilakukan dengan pengamatan di lapangan menggunakan alat piezometer.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Fredlund, D.G., 1987, *Slope Stability Analysis Incorporating the effect of Soil Suction, Slope Stability*, Eds. M.G. Anderson and S.K. Richards, pp 113-144, John Wiley and Sons Ltd., London
- 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., 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.
- Lim,T.T., Rahardjo, H., Chang, M.F., Fredlund, D.G.,1996, Effect of Rainfaal on Matric Suction in a Residual Soil Slope, Canadian Journal Geotechnical, pp. 618 – 628.
- Oxford Geotechnica International, 1995, A Simple and Efficient Two Dimensional Groundwater Flow and Transport Model, Oxford.
- Selby,M.J., 1993, Hillslope Material and Processes, Second Edition, Oxford University Pers, Oxford.
- 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..