

PENGARUH KARAKTERISTIK CURAH HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG

Dian Hastari Agustina
Dosen Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan Batam

ABSTRACT

Landslide is one of accident that often occur in natural or artificial slope. Landslide often takes place on the rainy season. Many landslides that occur on rainy season were caused by an increase in pore water pressure. This, results in decreasing the shear strenght then failures occur. This research was done in Kalibawang irrigation channel in Kulon Progo, especially in km.7.8.

This research was done in two steps. The first step was to analyse ground water slope behavior (hidrological condition) in respon to the rainfall infiltration by hidrology modelling, from initial condition without rain and then continuous with raining condition. The rainfall intensities applied for modelling were intensity 60 mm/hour and 5 mm/hour respectively. The next step was to identify influence of the rain models in slope condition that result in decrease slope stability.

This research result is the decrease of slope stability is influence by intensity and duration of the rain. Rain infiltration caused to the change of suction that also influenced to the slope stability. From the analyses all of the rainfall was potential to decrease matrix suction and slope stability, but the most decrease of slope stability was caused of rainfall with intensity 5mm/hour for 12 hours than rainfall with intensity 60mm/hour for an hour.

Key word : landslide, rain infiltration, suction,slope stability.

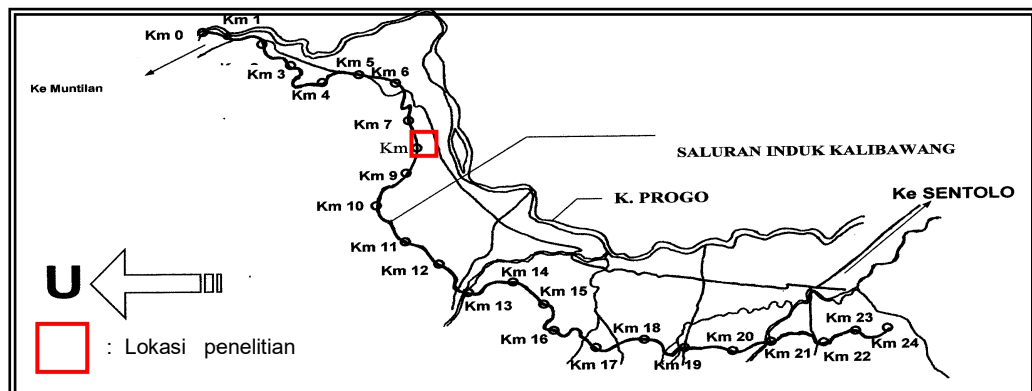
1. PENDAHULUAN

Kelongsoran lereng di Indonesia merupakan masalah yang serius mengingat kerusakan dan korban jiwa yang ditimbulkan cukup besar sehingga menempati urutan kedua setelah banjir dan cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Longsoran adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi pada lereng alami maupun buatan, yang kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Dari berbagai penelitian yang pernah dilakukan disebutkan bahwa karakteristik hujan yang memicu terjadinya longsoran sulit diketahui besar intensitas dan durasinya,

selain itu perubahan kondisi pengaliran air bawah muka lereng akibat infiltrasi air hujan sulit diamati secara langsung di lapangan. Oleh karena itu, kondisi aliran air di bawah muka lereng akibat infiltrasi air hujan dianggap merupakan faktor yang cukup berperan dalam proses terjadinya longsoran.

Lereng tanah dikatakan stabil, apabila lereng tersebut dengan kondisi tanah yang membentuk lereng kenyang air sebagian, dan sudut lereng tidak melebihi sudut gesek internal tanah (ϕ' atau ϕ_d) yang ditentukan dari hasil uji geser langsung atau triaksial CU atau CD. Apabila tegangan air pori dalam tanah meningkat, mengakibatkan tegangan efektif (σ') tanah menurun. Saat hujan selama periode tertentu, kondisi tanah menjadi kenyang air, sehingga menurunkan tegangan efektif, dan tegangan geser tanah ($\tau = c + \sigma \text{tg } \phi$). Oleh sebab itu tanah dalam kondisi labil dan kemungkinan akan terjadi keruntuhan.

Penelitian ini dilakukan di salah satu daerah yang sering mengalami kelongsoran, yaitu di sepanjang saluran induk Kalibawang Kulonprogo, yang terletak pada kaki lereng perbukitan Kulonprogo. Lokasi ini terletak di saluran induk Kalibawang Km.7,8. Daerah ini rentan mengalami kelongsoran karena kemiringan lereng $>50^\circ$. Asumsi bahwa gerakan tanah yang selalu terjadi pada musim hujan adalah akibat peningkatan kandungan air pada lereng sehingga tanah menjadi jenuh, terjadilah perlemahan sehingga berakibat kekuatan geser tanah menurun dan akhirnya terjadi longsoran.



Gambar 1. Peta Saluran Induk Kalibawang

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

- (1) Menganalisis penyebab terjadinya longsor dan perubahan kandungan air pada lereng yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng,
- (2) mendapatkan gambaran perubahan kandungan air pada lereng dan pengaruhnya terhadap kestabilan lereng saat hujan dan terjadi longsor.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Gerakan massa tanah/batuan didefinisikan sebagai gerakan menuruni atau keluar lereng oleh massa tanah atau batuan penyusun lereng, ataupun percampuran keduanya sebagai bahan rombakan, akibat dari terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut (Karnawati, 2004).

Ketidakstabilan lereng dibagi menjadi 2 kelompok (Varnes 1958) :

1. Meningkatnya tegangan geser disebabkan bertambahnya beban lereng, hilangnya dukungan lateral (pemotongan dan penggalian pada kaki lereng), perubahan muka air yang berbatasan dengan lereng yang berlangsung cepat, meningkatnya tegangan lateral (celah-celah retakan terisi oleh air), beban gempa.
2. Terjadinya pengurangan tahanan geser akibat meningkatnya tekanan air pori sehingga mengurangi tegangan efektif (infiltrasi air hujan ke dalam lereng, tidak terkontrolnya aliran air dalam drainase, gempa bumi yang menyebabkan tekanan air) pengembangan pada tanah lempung, pelapukan dan degradasi sifat kimia serta keruntuhan progresif karena melemahnya tegangan geser.

Hujan pemicu longsor adalah hujan yang mempunyai curah tertentu, sehingga air yang dicurahkan dapat meresap ke dalam lereng dan mendorong massa tanah untuk longsor. Secara umum terdapat 2 tipe hujan pemicu longsor di Indonesia, yaitu tipe hujan deras dan tipe hujan normal tapi berlangsung lama.

A. Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Persamaan kuat geser atau biasa disebut sebagai kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb adalah:

$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi$$

dengan:

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

σ_n = tegangan normal pada bidang runtuh

c = kohesi tanah (kN/m²)

φ = sudut gesek dalam tanah (°)

Jika tanah tidak jenuh sempurna, rongga tanah akan terisi oleh air dan udara. Sehingga persamaan Mohr-Coulomb dapat ditulis sebagai berikut :

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \operatorname{tg} \varphi' + (u_a - u_w) \operatorname{tg} \varphi$$

dengan:

φ^b = sudut kemiringan antara *matrix suction* ($u_a - u_w$) dengan kuat geser ($\sigma_n - u_a$) konstan.

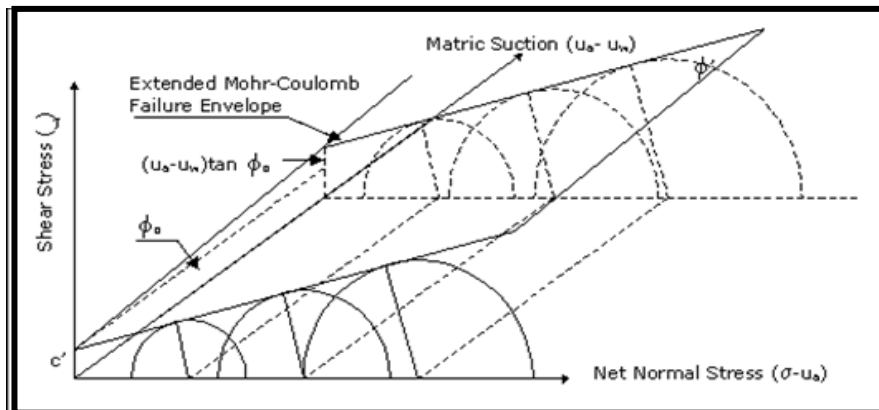
u_a = tegangan udara pori

u_w = tegangan air pori

Lingkaran tegangan (*stress circle*) untuk kondisi runtuh dapat dipetakan dalam diagram tiga dimensi dengan dua variabel *stress state* dan digambarkan pada bidang horisontal atau axis dan kuat geser sebagai ordinat (gambar 2).

Sedangkan untuk kuat geser tanah jenuh, maka persamaan menjadi,

$$\tau = c' + (\sigma - u_w) \operatorname{tg} \varphi'$$



Gambar 2. Diagram keruntuhan Mohr untuk tanah tak jenuh

B. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng ini menggunakan kombinasi program *SEEP/W* dan *SLOPE/W*. Kedua program ini berbasis pada *finite element*.

SEEP/W mampu melakukan analisis tanah pada kondisi *unsaturated* dan *saturated*. Data masukan berupa data konduktivitas hidraulik (*hidraulik conductivity*) dan *volume water content*. Persamaan dasar yang digunakan adalah:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \left(\frac{\partial \theta_w}{\partial t} \right) \text{ dengan :}$$

H = total head

k_x dan k_y = hidraulik konduktivitas arah x dan arah y

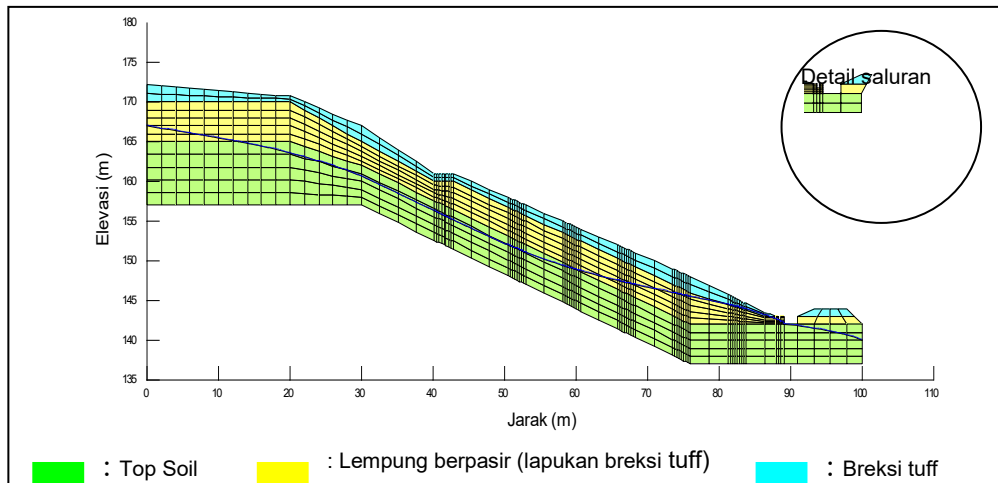
Q = nilai flux yang ditetapkan pada pemodelan

θ_w = volume water content

t = waktu

Perubahan *volume water content* ($\partial \theta_w$) berpengaruh terhadap perubahan tekanan air pori.

SLOPE/W digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng terutama untuk menentukan faktor keamanan, analisa berdasarkan metode Bishop. Metode ini memperhitungkan keseimbangan momen, dengan persamaan umum:



Gambar 4. Profil melintang lereng

Tabel 1. Pola Hujan dan Kondisi Muka Air Tanah pada Lereng

Model	Tujuan	Pola Hujan	Kondisi Muka Air Tanah	
			Lereng Atas	Lereng bawah
Tanpa hujan	Mengetahui kestabilan awal lereng	Tanpa Hujan	-7 m	-0,5 m
I	Mengetahui pengaruh hujan deras dengan durasi singkat terhadap kestabilan lereng	Hujan 60 mm/jam selama 1 jam, berhenti selama 23 jam	-7 m	-0,5 m
II	Mengetahui pengaruh hujan normal dengan durasi panjang	Hujan 5 mm/jam selama 12 jam, berhenti selama 12	-7 m	-0,5 m

	terhadap kestabilan lereng	jam		
III	Mengetahui pengaruh hujan normal yang diikuti hujan deras terhadap kestabilan lereng	Hujan 5 mm/jam selama 6 jam + 60 mm/jam selama 0.5 jam, berhenti selama 17,5 jam	-7 m	-0,5 m
IV	Mengetahui pengaruh hujan deras yang diikuti hujan normal terhadap kestabilan lereng	Hujan 60 mm/jam selama 0.5 jam + 5 mm/jam selama 6 jam, berhenti selama 17,5 jam	-7 m	-0,5 m

Pemodelan hujan pada penelitian ini diterapkan total volume curah hujan yaitu 60mm/hari, tetapi dengan intensitas dan durasi yang berbeda dan berdasarkan kondisi di lokasi penelitian. Selanjutnya hujan disimulasikan setiap hari secara terus menerus selama 4 bulan, untuk melihat sampai lereng berada pada kondisi kritis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter hasil pengujian yang digunakan untuk menganalisis aliran air tanah dan kestabilan lereng, dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Sifat Fisik Tanah Penyusun Lereng untuk Analisa Kestabilan Lereng

Lapisan batuan	C (KN/m ²)	ϕ ($^{\circ}$)	Gs	e	γ (KN/m ²)	ks (m/dt k)
Top soil	8,4	4,48	2,69	1,6	15,9	1,4x1

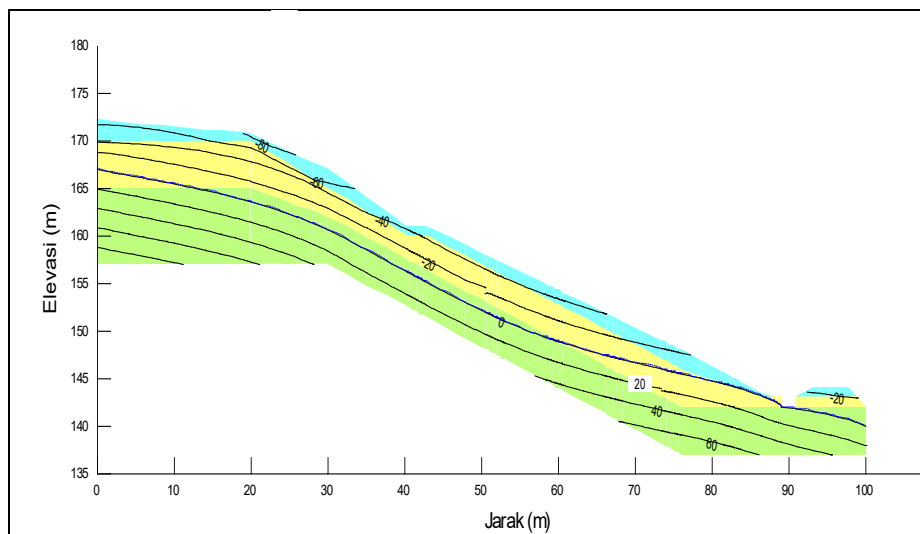
				9		0 ⁻⁶
Lempung pasiran (hasil lapukan breksi tuff)	20	19	2,62	1,1 2	15,4	2,4x1 0 ⁻⁶
Breksi tuff	13	33	2,61	0,9 7	18	1,6x1 0 ⁻⁶

Tabel 3. Sifat Fisik Tanah Penyusun Lereng untuk Analisa Aliran Air Tanah

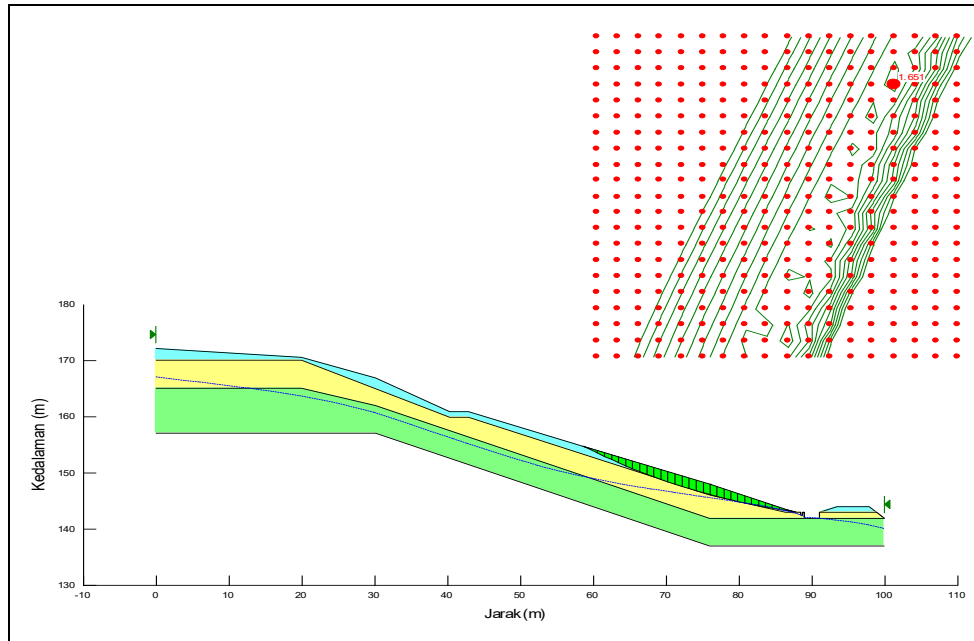
Lapisan batuan	Vol.water content saturated (θ_s)	Vol.water content residual (θ_r)	α	n	m
Top soil	0,41702	0,182	0,15	1,24 3	0,21 22
Lempung pasiran (hasil lapukan breksi tuff)	0,77106	0,47324	0,23 26	1,33 3	0,24 98
Breksi tuff	0,72485	0,35677	0,53 60	1,33 4	0,25 03

Kondisi awal (*initial condition*) merupakan kondisi yang menggambarkan tingkat kestabilan lereng sebelum terjadinya hujan. *Suction* pada kondisi awal berkisar antara 0 sampai 83 Kpa (Gambar 5).

Lereng ini juga memiliki bidang longsor dangkal, (± 2 m) dengan faktor keamanan lereng sebesar 1,651 yang artinya lereng berada dalam kondisi aman (Gambar 6).



Gambar 5. Distribusi tekanan air pori pada kondisi awal

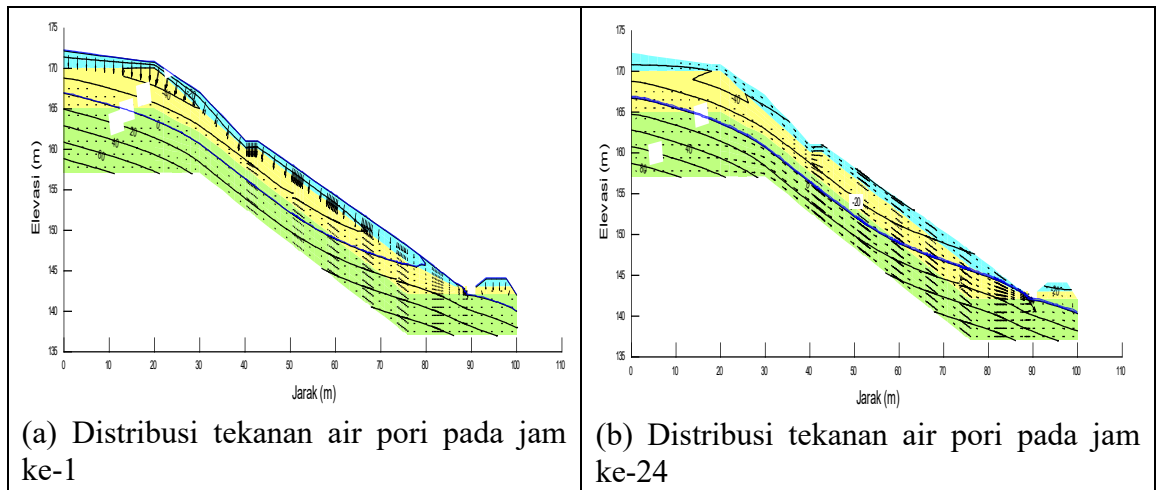


Gambar 6. Bidang longsor lereng

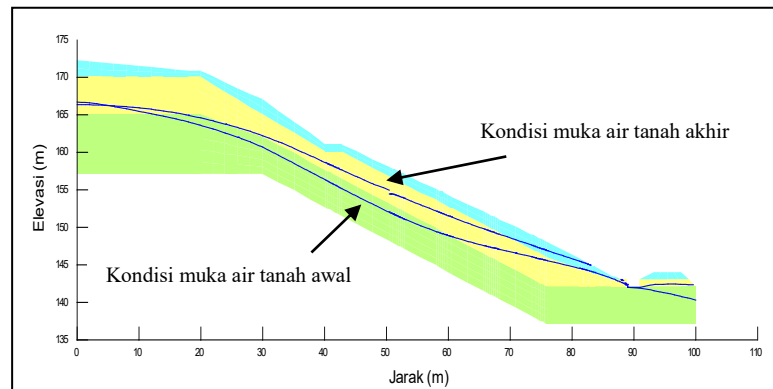
A. Hasil Pemodelan Stabilitas Lereng pada Pemodelan I

Pada pemodelan I akibat hujan selama satu jam terjadi penurunan *suction* dari -63,733 Kpa menjadi -31,326 Kpa dan setelah hujan berhenti *suction* meningkat lagi menjadi -42,105 . Pada pemodelan ini koefisien permeabilitas sebesar $1,4 \cdot 10^6$ m/det lebih kecil dari intensitas hujan ($q > k$), maka proses yang terjadi adalah kandungan air tanah permukaan mengalami peningkatan permukaan menjadi jenuh sehingga terjadi *run off*.

Setelah hujan selama 1 jam faktor keamanan lereng mengalami perubahan, dari 1,651 menjadi 1,542, pada jam ke-24 faktor keamanan berangsur-angsur meningkat menjadi 1,630. Sampai akhir simulasi dengan pola hujan yang sama, ternyata lereng tetap stabil, angka aman pada lereng hanya turun menjadi 1,463. Hal ini terjadi karena saat hujan berhenti terjadi peningkatan *suction*, muka air tanah hanya terjadi sedikit peningkatan (Gambar 8).



Gambar 7. Pola distribusi tekanan air pori model I



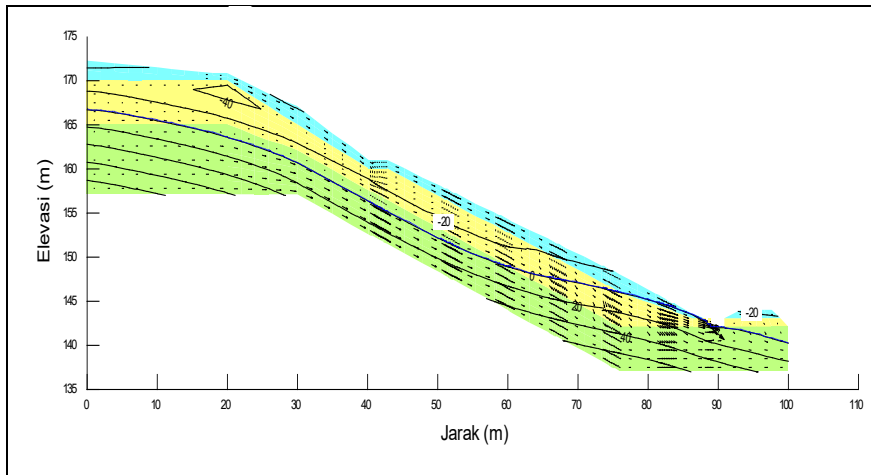
Gambar 8. Kondisi muka air tanah pada model I

B. Hasil Pemodelan Stabilitas Lereng pada Pemodelan II

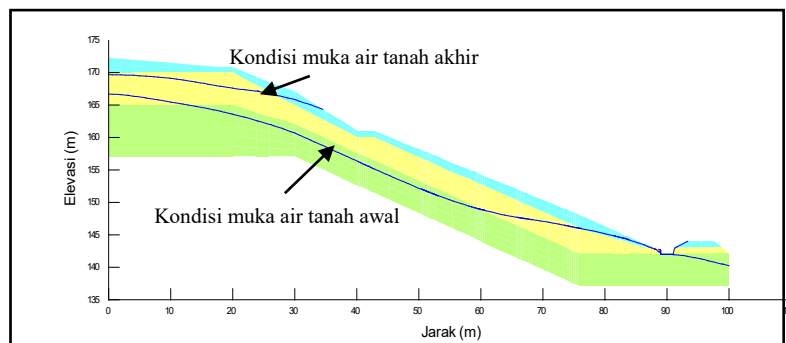
Pada pemodelan ini akibat hujan selama 12 jam terjadi penurunan *suction* dari -63,733 Kpa menjadi -23,564 Kpa dan pada jam ke-24 setelah hujan berhenti meningkat menjadi -33,226 Kpa. Pada model ini kondisi koefisien permeabilitas lebih besar dari intensitas curah hujan ($q < k$), maka yang terjadi laju infiltrasi dalam tanah lebih cepat dibanding laju infiltrasi hujan, menyebabkan kenaikan muka air tanah juga lebih cepat terjadi.

Setelah hujan selama 12 jam faktor aman mengalami penurunan dari 1,651 menjadi 1,473. Kelongsoran terjadi pada hari ke-62, dengan faktor keamanan 0,991. Dapat disimpulkan bahwa hujan intensitas rendah dapat menjadikan lereng kritis jika

terjadi dengan durasi yang panjang, karena masa kering menjadi lebih pendek dan lereng lebih cepat menjadi jenuh akibat kenaikan muka air tanah. (Gambar 10).



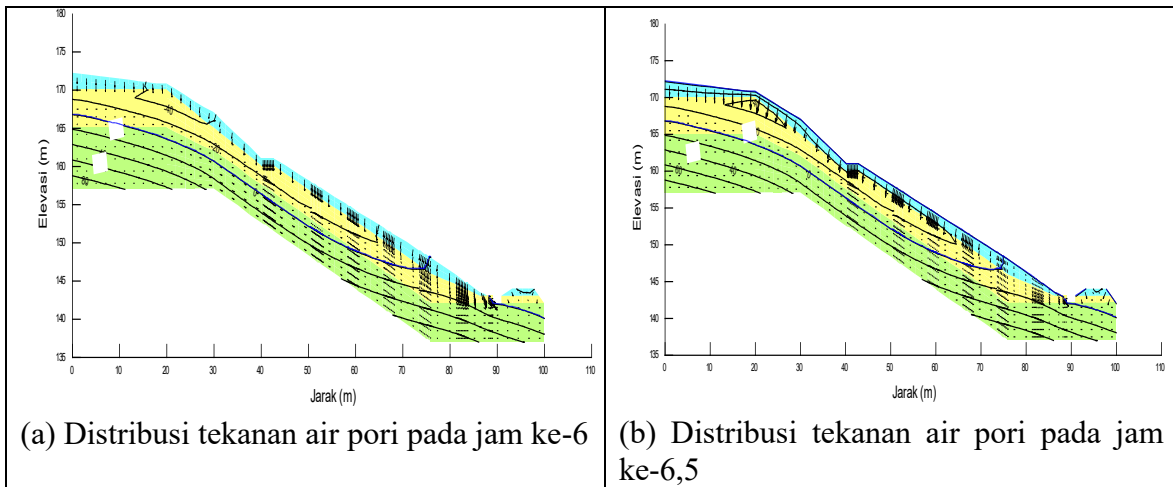
Gambar 9. Pola distribusi tekanan air pori model II pada jam ke-24



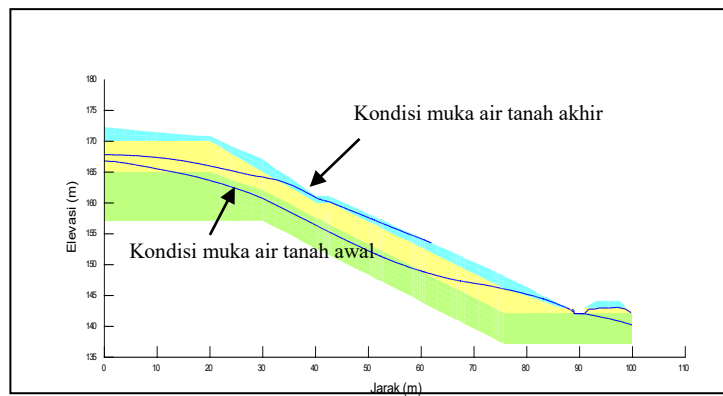
Gambar 10. Kondisi muka air tanah pada model II

C. Hasil Pemodelan Stabilitas Lereng pada Pemodelan III

Pada pemodelan ini pada 6 jam pertama kondisi yang terjadi adalah sama dengan pemodelan II dimana $q < k$, *suction* berubah dari -63,733 Kpa menjadi -40,011 Kpa. Selanjutnya pada jam ke-6,5 kondisi berubah yaitu $q > k$, sehingga pada permukaan lereng terjadi *run off* (Gambar 11b), *suction* turun lagi menjadi -22,073 Kpa. Dan pada jam ke-24, kembali meningkat menjadi -37,645 Kpa. Setelah hujan pada hari pertama faktor keamanan turun dari 1,651 menjadi 1,494. Sampai akhir simulasi selama faktor keamanan menjadi 1,090, berarti lereng belum longsor. Perubahan muka air tanah terlihat pada Gambar 12.



Gambar 11. Pola distribusi tekanan air pori model III

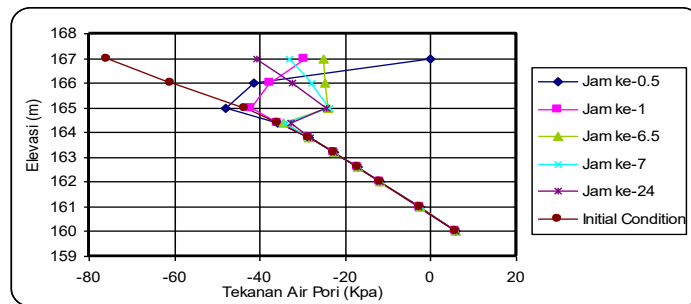


Gambar 12. Kondisi muka air tanah pada model III

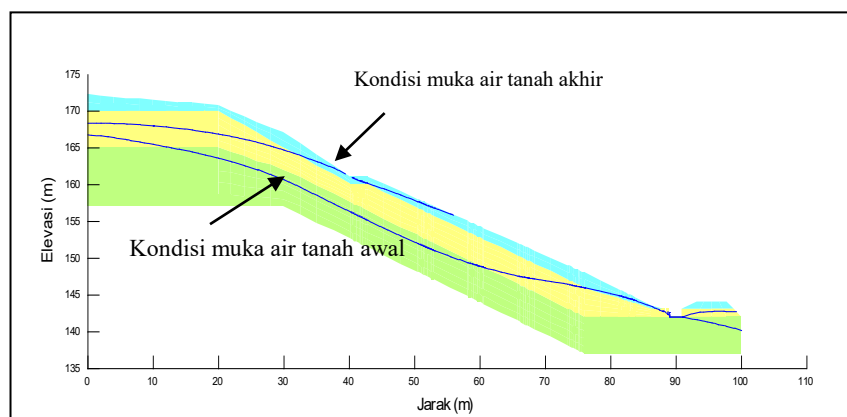
D. Hasil Pemodelan Stabilitas Lereng pada Pemodelan IV

Dari pemodelan ini diperoleh nilai penurunan *suction* pada setengah jam pertama (jam ke-0,5) dari -63,733 Kpa menjadi -41,306 Kpa. Akibat hujan intensitas 60 mm/jam ($1,67 \cdot 10^{-5}$ m/det) dimana $q > k$, permukaan lereng segera menjadi jenuh dan selanjutnya proses penjenuhan mulai bergerak ke bawah, nilai *suction* di permukaan kembali meningkat (lihat grafik jam ke-1 pada Gambar 13). Selanjutnya hujan pada jam berikutnya sebesar 5 mm/jam tidak menyebabkan permukaan jenuh dimana $q < k$, *suction* turun menjadi -25,854 Kpa dan meningkat lagi pada jam ke-24 menjadi -34,826 Kpa.

Angka keamanan turun dari 1,651 menjadi 1,559 pada jam ke-0,5 dan 1,504 pada jam ke-6,5. Di akhir simulasi, angka keamanan menjadi 1,065, dan terjadi perubahan muka air tanah seperti pada Gambar 14.

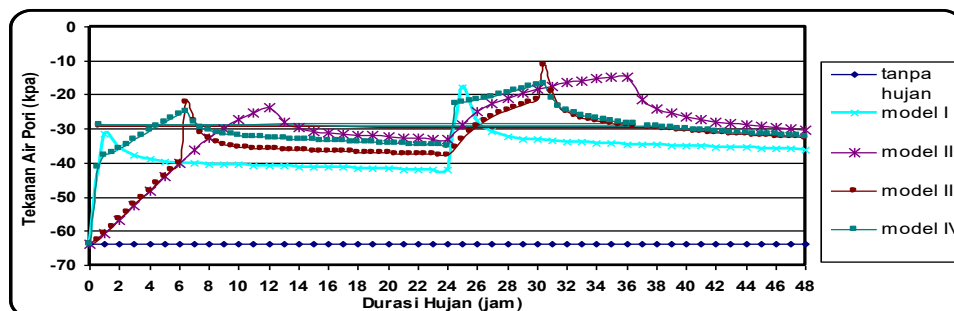


Gambar 13. Profil distribusi tekanan air pori dalam lereng pada model IV



Gambar 14. Kondisi muka air tanah pada model IV

Dari keempat pemodelan di atas, dapat dilihat pola distribusi tekanan air pori untuk hujan selama 48 jam menunjukkan, nilai *suction* meningkat kembali meskipun tidak terlalu signifikan (Gambar 15). Untuk hujan pada hari berikutnya akan diperoleh trend pola perubahan tekanan air pori yang sama, tetapi akan terlihat perubahan penurunan *suction* menjadi lebih rendah.



Gambar 15. Pola perubahan distribusi tekanan air pori untuk hujan selama 2 hari pada lereng bagian atas

Tabel 4. Hasil simulasi hujan terhadap faktor keamanan lereng

Faktor Keamanan				
Tanpa Hujan	Model Hujan I	Model Hujan II	Model Hujan III	Model Hujan IV
1,651	1,408	0,991	1,090	1,065

Dari keempat pemodelan hujan disimpulkan, bahwa hujan dengan intensitas rendah 5 mm/jam dengan durasi panjang memberikan pengaruh cukup besar terhadap penurunan nilai *suction* dan penurunan angka keamanan, yang dapat berakibat kelongsoran. Kelongsoran terjadi pada lapisan top soil dengan model longSORan nendatan dengan bidang longSOR yang cukup dangkal $\pm 1,5$ m, hal ini disebabkan kondisi kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ°) yang sangat rendah pada lapisan tersebut.

5. KESIMPULAN

1. Berdasarkan analisis kestabilan lereng diperoleh, hujan pada model II dengan intensitas rendah 5 mm/jam dengan durasi panjang yang paling berpotensi menurunkan kestabilan lereng. Hal ini disebabkan nilai $q < k$ sehingga air hujan seluruhnya terinfiltrasi ke dalam tanah, terjadi kenaikan muka air tanah yang lebih cepat.
2. Dari analisis kestabilan lereng yang dianalisis berdasarkan kondisi nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ°) tidak jenuh sesuai dengan kondisi di lapangan saat pengambilan sampel pengujian, kelongsoran yang terjadi berupa bidang longSOR dangkal yaitu kelongsoran pada lapisan top soil.

DAFTAR PUSTAKA

- Fredlund, D.G., and Rahardjo, H., 1993, *soil Mechanics for Unsaturated Soils*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Geo-Slope International Ltd., 1998, *SEEP/W for Finite Element Seepage Analysis (v.4)*, Users Manual, Calgary, Alberta, Canada.
- Geo-Slope International Ltd., 1998, *SLOPE/W for Finite Element Slope Analysis (v.4)*, Users Manual, Calgary, Alberta, Canada.
- Hardiyatmo, H.C., 1992, *Mekanika Tanah II*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Head, K.H., 1985, *Manual of Soil Laboratory Testing Vol.2, Permeability, Shear Strength and Compressibility Test*, Pentech Press, London.
- Karnawati, D., 2004, *Gerakan Massa Tanah*, Diktat Geologi Teknik, UGM Yogyakarta.
- Mitchell, J.K., 1993, *Fundamental of Soil Behavior*, John Wiley & Sons Inc, New York.