

Analisis Pengaruh Karakteristik Hujan terhadap Gerakan Lereng

(Analysis on Rainfall Characteristics Effect to the Slope Movement)

SRI HARYANTI, KABUL BASAH SURYOLELONO, RACHMAD JAYADI

ABSTRACT

Soil movement mostly occurs especially during rainy season at the slope of Kalibawang irrigation channel at KM 15,9 in Kulon Progo district, Daerah Istimewa Yogyakarta. The slope movement causes damage at the school building, bridge and irrigation channel. Based on this fact, a research is necessary by modeling the slope at site of conducted. The objectives of this research are to identify the rainfall characteristic which triggering slope movement and to recognizes factor affecting the slope movement. Topography data, physical characteristic, and soil mechanic were applied as the input simulation models. Groundwater flow in slope was numerically simulated by using SEEP/W while the slope deformation simulated by SIGMA/W. Both SEEP/W and SIGMA/W were applied simultaneously in the numerical simulation. Rainfall design with appropriate return period was determined from rainfall annual daily maximum historical data recorded from 1985-2004, while distribution was completed by applying statical analysis on hourly rainfall data. The analysis of normal daily rainfall was determined based on daily rainfall data from Kalibawang rain gauge. Six models were applied as follow: initial condition (Rainfall Model I), heavy rainfall in short duration (Rainfall Model II), normal daily rainfall of 25 and 40 mm in long duration (Rainfall Model III), normal daily rainfall of 20 mm in long duration (Rainfall Model IV), heavy rainfall followed with normal daily rainfall of 20 mm (Rainfall Model V) and normal rainfall of 20 mm followed with heavy rainfall (Rainfall model VI). The result shows that at the research location, the maximum daily rainfall of 2-year-return period is 113,8 mm with dominant duration was 4 hour per day. This value was applied as Rainfall Model II. Based on the simulation the movement or deformation with Rainfall Model II, III, IV, V and VI is 0,22 m; 0,956 m; 1,01 m, ; 0,652 m, and 0,568 respectively. It is concluded that at the research location, heavy rainfall in short duration gives small impact to slope movement or slope deformation and normal rain of 20 mm in long duration (Rainfall Model IV) is highly significant to the slope movement or slope deformation.

Keywords: deformation, rain characteristics , numerical simulation

PENDAHULUAN

Lereng di sekitar KM 15,9 Saluran Induk Kalibawang Kulon Progo pada saat musim hujan sering terjadi gerakan tanah berupa rayapan tanah atau *creep*. Gerakan atau deformasi lereng ini mengakibatkan kerusakan pada gedung sekolah, jembatan dan saluran irigasi. Diperkirakan hujan menjadi salah satu pemicu gerakan tanah ini. Kondisi ini ditunjang dengan kemiringan lereng antara 30° - 45° , tersusun atas tanah lempung kelanauan, breksi

andesit, serta perselang-selingan batu pasir batu lempung.

Dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi terhadap karakteristik hujan pemicu terjadinya gerakan tanah dan evaluasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap gerakan tanah dan penyebab terjadinya gerakan tanah di KM 15,9.

Gerakan tanah merupakan gerakan menuruni lereng oleh massa tanah atau batuan penyusun lereng, akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut (Varnes, 1978).

Secara umum ada dua tipe hujan pemicu longsoran di Indonesia, yaitu tipe hujan deras dan tipe normal. Tipe hujan deras misalnya adalah hujan dengan intensitas mencapai 70 mm per jam atau lebih dari 100 mm per hari. Tipe ini hanya akan efektif memicu longsoran pada lereng tanah dengan karakteristik tanahnya mudah menyerap air, misalnya pada tanah lempung pasiran dan tanah pasir. Tipe hujan normal contohnya adalah hujan dengan intensitas 20-50 mm/hari. Hujan tipe ini bila berlangsung selama beberapa minggu hingga beberapa bulan dapat memicu longsoran pada lereng yang tersusun oleh tanah yang permeabilitasnya kecil, misalnya tanah lempung (Karnawati, 2001).

Analisis frekuensi merupakan salah satu cara untuk memperkirakan besaran hujan/debit rancangan dengan kala ulang tertentu yang dilakukan melalui pendekatan statistik (Sri Harto, 2000).

Distribusi hujan terukur didasarkan pada pengamatan kejadian hujan yang pernah tercatat oleh alat ukur hujan otomatis. Selanjutnya ditetapkan interval (*range*) kedalaman hujan dan dikumpulkan menurut lama hujannya, kemudian dirata-ratakan untuk ditetapkan sebagai lama hujan yang mewakili masing-masing interval (*range*) tersebut. Distribusi hujan tiap jam diperoleh dengan membuat kurva persentase distribusi hujan (Sri Harto, 2000).

Peningkatan tekanan air pori positif selama curah hujan tinggi menyebabkan stabilitas lereng turun, karena tegangan efektif tanah ($\sigma = \sigma_n - u_w$) dan kuat geser tanah turun akibat tekanan air pori yang semakin positif. Hal tersebut terjadi sebaliknya ketika tekanan air pori positif turun atau tekanan air pori turun yang terjadi pada musim panas, sehingga tegangan efektif tanah dan stabilitas lereng meningkat. Ho dan Fredlund (1982) dalam Abramson et al. (1996) mengemukakan bahwa peningkatan kuat geser tanah akibat tekanan air pori negatif dapat dilihat dalam Persamaan 1.

$$c = c' + (u_a - u_w) \tan \varphi^b \quad (1)$$

dengan

- c : kohesi total tanah (kN/m^2),
- c' : kohesi efektif (kN/m^2),
- $(u_a - u_w)$: *matric suction* (kN/m^2),

- φ^b : sudut yang menunjukkan variasi penambahan kuat geser relatif terhadap *matric suction* (\dots°),
- u_a : tekanan udara pori (kN/m^2),
- u_w : tekanan air pori (kN/m^2).

Fredlund dan Rahardjo (1993) mengusulkan persamaan kuat geser tanah pada *unsaturated soils* (Persamaan 2).

$$\tau = c' + \{(\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w)\} \tan \varphi \quad (2)$$

dengan

- $(\sigma - u_a)$: tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2),
- χ : parameter yang berhubungan dengan derajat kejenuhan, dimana $\chi = \frac{\varphi^b}{\varphi}$.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah lereng di KM 15,9 Saluran Induk Kalibawang yang berlokasi di Kalibawang Kabupaten Kulon Progo Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Alat

Dalam penelitian ini digunakan dua buah *software* yaitu SEEP/W dan SIGMA/W. Keduanya merupakan bagian dari *software* GEOSLOPE OFFICE VERSI 5. Kedua *software* ini akan dijalankan bersamaan dimana SEEP/W digunakan untuk memodelkan perubahan aliran air dalam tanah akibat hujan, sementara SIGMA/W menghitung deformasi lereng.

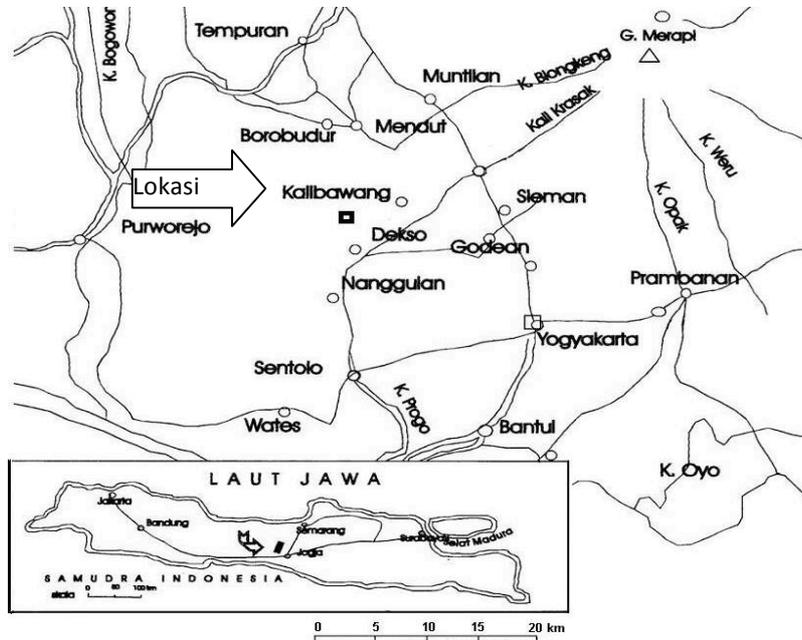
Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah data topografi tanah, data sifat fisis tanah (Laboratorium JTS FT UGM), data hujan harian dari stasiun kalibawang selama tahun 1985-2004 serta data *monitoring* tekanan air pori dan regangan yang diukur dengan *piezometer* (PZ) dan *strain gauge* (SG) yang dipasang di lapangan. Letak pemasangan

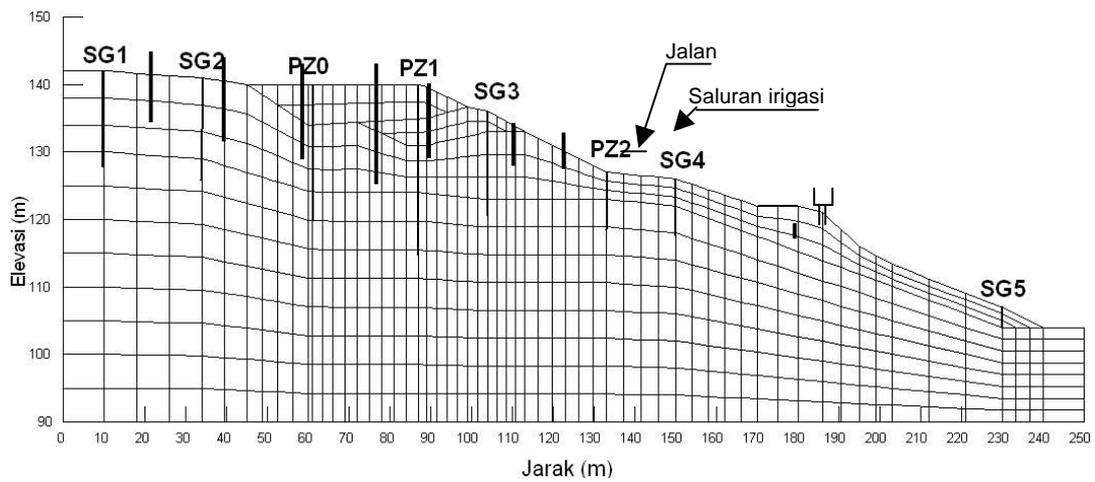
piezometer dan strain gauge ditunjukkan oleh Gambar 2.

Prosedur

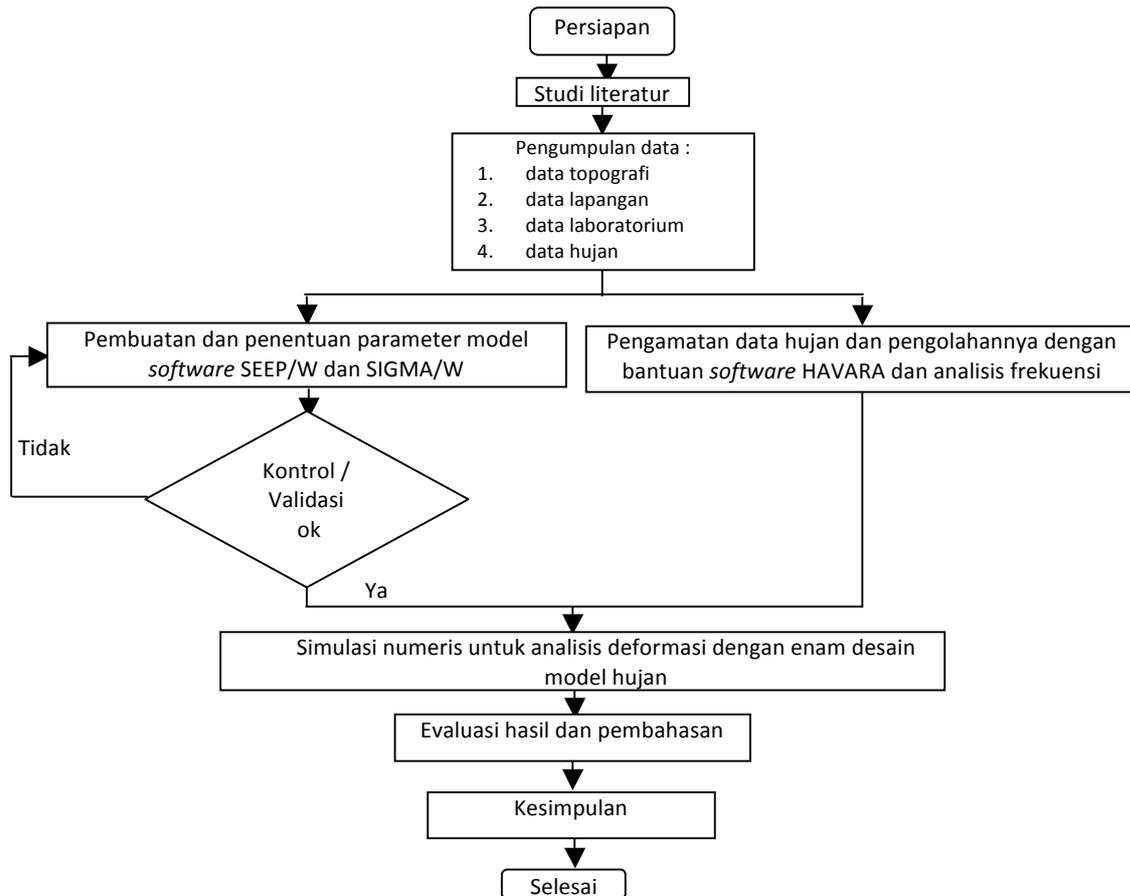
Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ditunjukkan dalam Gambar 3.



GAMBAR 1. Lokasi daerah penelitian (DEPKIMPRASWIL, 2002)



GAMBAR 2. Letak pemasangan piezometer dan strain gauge



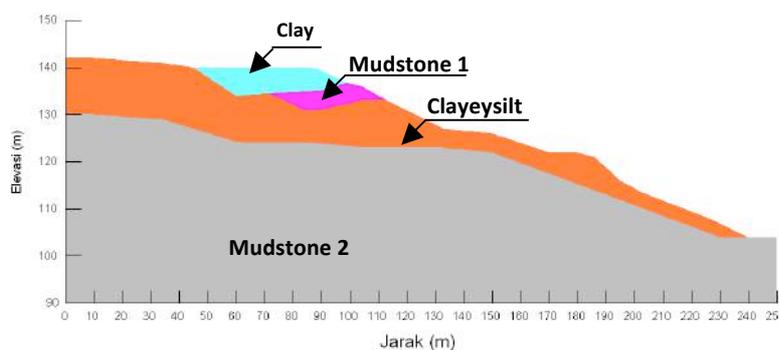
GAMBAR 3. Bagan alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Numeris

Secara umum berdasarkan uji bor dan uji laboratorium maka lapisan tanah penyusun lereng adalah lempung (*clay*), batu lempung 1

(*mudstone 1*), lanau kelempungan (*clayey silt*) dan batu lempung 2 (*mudstone 2*) seperti yang terlihat pada Gambar 4. Parameter-parameter yang diperlukan untuk *input* model simulasi pada SEEP/W dan SIGMA/W ditunjukkan dalam Tabel 1. *Input* parameter tanah estimasi awal dalam *software* SEEP/W dan SIGMA/W ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.



GAMBAR 4.. Lapisan tanah penyusun lereng.

TABEL 1. Parameter untuk SEEP/W dan SIGMA/W

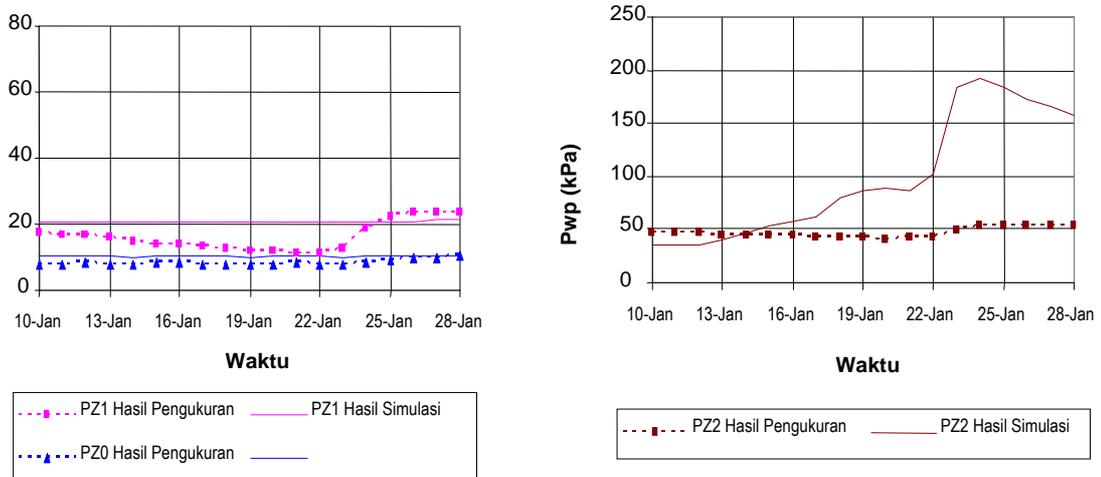
SEEP/W	SIGMA/W
- Fungsi VWC atau SWCC	- Nilai E,v,c,φ,φ _b
- Fungsi <i>hydraulic conductivity</i>	- Berat volume tanah
- Kondisi awal lereng	
- Karakteristik hujan	

TABEL 2. Parameter tanah dengan estimasi awal untuk SEEP/W

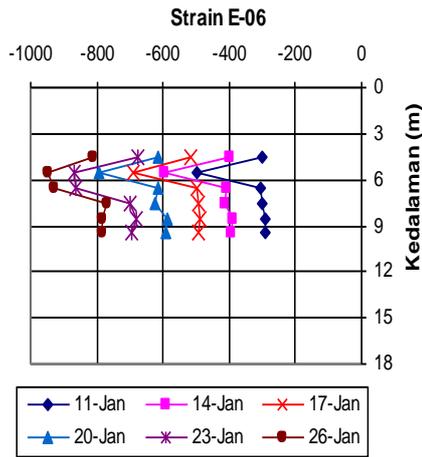
Tanah	$\Theta_s = n \times S$	k (m/hari)
1. Lempung	0,562	6,6640e-2
2. <i>Mudstone 2</i>	0,250	1,172e-4
3. Lanau Kelempungan	0,575	1,1920e-2
4. <i>Mudstone 1</i>	0,562	6,5040e-4

TABEL 3. Parameter tanah dengan estimasi awal untuk SIGMA/W

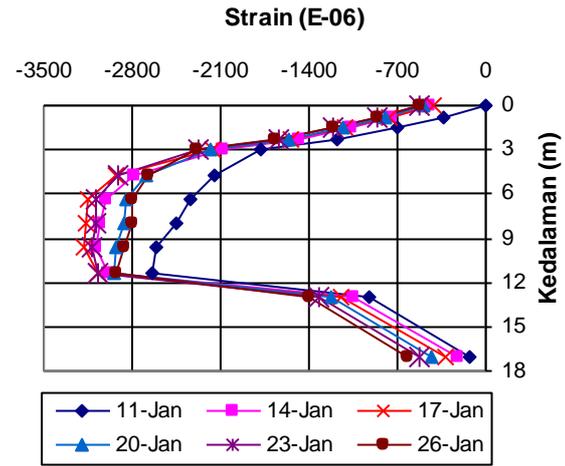
Parameter	Jenis Tanah			
	<i>Clay</i>	<i>Mudstone 1</i>	<i>Clayey silt</i>	<i>Mudstone 2</i>
Model Tanah	Elastis plastis	Elastis plastis	Elastis plastis	Linier elastis
E (kN/m ²)	1130,227	50000	1709,088	1,4e6
v	0,35	0,4	0,35	0,4
c' (kN/m ²)	31	74	33	-
φ'	4,63	10	6,63	-
φ' _b	2,3	5	3,3	-
Berat tanah (kN/m ²)	16,1	16,1	15,9	16,1



GAMBAR 5. Perbandingan tekanan air pori hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi dengan *input* parameter estimasi awal di PZ0, PZ1 dan PZ2



GAMBAR 6.a. Regangan hasil pengukuran lapangan (Veasna, 2005)



GAMBAR 6.b. Regangan hasil pengukuran lapangan dengan parameter estimasi awal

Dari Gambar 5 dan 6 terlihat masih terdapat perbedaan yang jauh antara nilai tekanan air pori dan nilai regangan hasil simulasi dengan hasil pengukuran *piezometer* dan *strain gauge* di lapangan. Oleh karena itu, dilakukan validasi terhadap parameter tanah dengan cara *trial-error* untuk mendapatkan *input* parameter tanah yang lebih sesuai dengan hasil pengukuran *piezometer* dan *strain gauge* di lapangan.

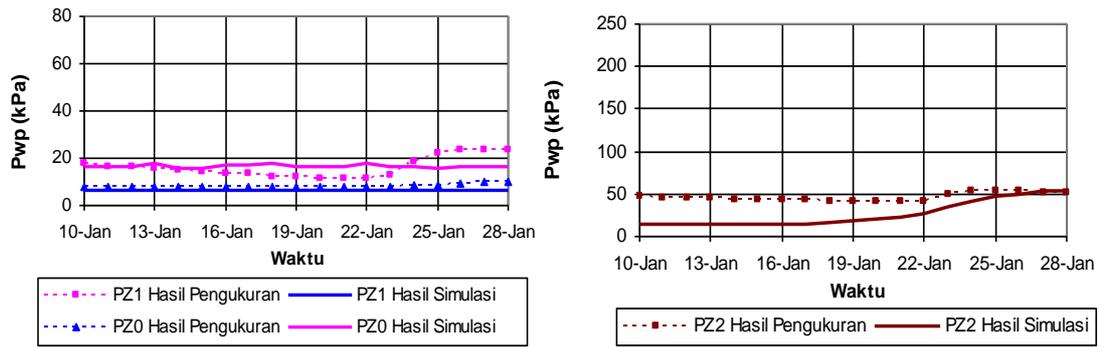
Tabel 4 dan Tabel 5 menyajikan validasi *input* parameter tanah untuk *software* SEEP/W dan SIGMA/W. Hasil simulasi model dengan *input* parameter tanah yang telah divalidasi seperti dalam Gambar 7 dan 8 menunjukkan tekanan air pori dan nilai regangan sudah cukup mendekati hasil pengukuran lapangan.

TABEL 4. Validasi data parameter tanah untuk SEEP/W

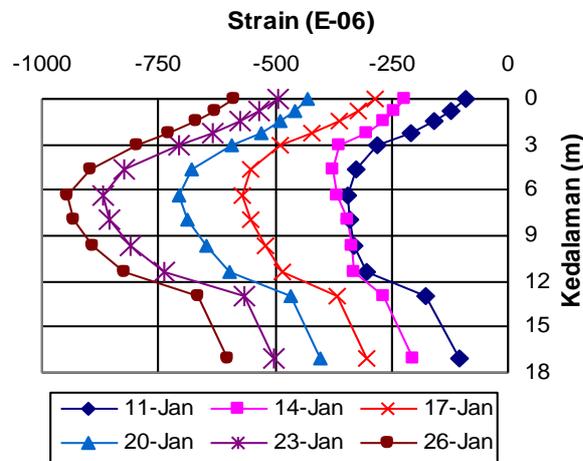
Tanah	$\Theta_s = n \times S$	k (m/hari)
1. Lempung	0,562	2,3940e-2
2. Batu Lempung 2	0,562	6,5040e-4
3. Lanau Kelempungan	0,575	2,6208e-2
4. Batu Lempung 1	0,562	6,7200e-4

TABEL 5. Validasi data parameter tanah untuk SIGMA/W

Parameter	Jenis Tanah			
	Clay	Clayey silt	Mudstone1	Mudstone2
Model Tanah	Elastis plastis	Elastis plastis	Elastis plastis	Linier elastis
E (kN/m ²)	1130,227	2709,088	50000	1,4e6
ν	0,35	0,35	0,45	0,45
c' (kN/m ²)	25	30	70	-
ϕ'	6,63	5	10	-
ϕ'_b	3,3	2,5	5	-
Berat tanah (kN/m ²)	16,1	15,9	16,1	16,1



GAMBAR 7. Perbandingan tekanan air pori hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi dengan input parameter validasi di PZ0, PZ1 dan PZ2

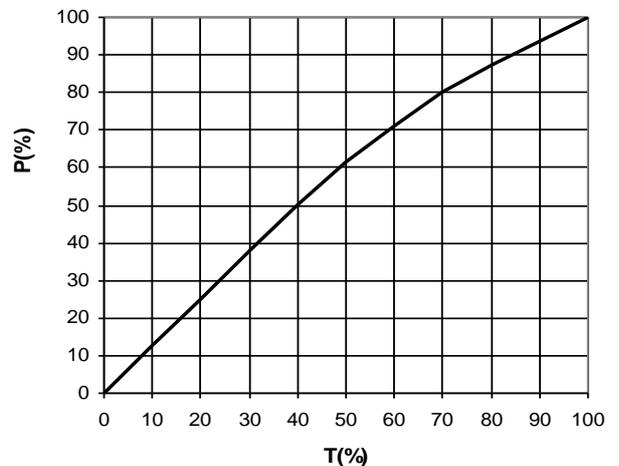


GAMBAR 8. Regangan hasil pengukuran dengan parameter validasi

Karakteristik Hujan

Dalam penelitian ini pengamatan terhadap data hujan selama kurun waktu tahun 1985 sampai 2004 dari Stasiun penakar hujan Kalibawang menunjukkan telah terjadi hujan menerus setiap hari selama tiga minggu sampai satu bulan penuh dengan intensitas hujan yang bervariasi, yaitu pada bulan Januari, kemudian disusul bulan Februari hujan menerus dengan intensitas hujan yang bervariasi selama dua minggu sampai satu bulan. Kejadian ini terjadi lebih dari tiga kejadian. Berdasarkan data ini maka dibuat desain hujan dengan intensitas normal berdurasi lama. Untuk desain hujan deras durasi pendek, diperoleh dari analisis data hujan harian maksimum. Dari data tersebut lama hujan rerata adalah 4 jam per hari, sedangkan kedalaman hujan maksimum dengan kala ulang 2 tahun yaitu 113,8 mm. Untuk mengetahui distribusi hujan tiap jamnya dari seluruh data kejadian hujan yang ada kemudian dibuat kurva

hubungan antara persen kedalaman hujan dan persen waktu seperti pada Gambar 9 dengan P adalah persentase kumulatif hujan (%) dan T adalah persentase durasi hujan (%).



GAMBAR 9. Kurva persen distribusi kedalaman hujan

Persentase distribusi hujan disajikan dalam Tabel 6. Dengan lama hujan yang telah ditentukan yaitu 4 jam, maka 100 % dibagi 4, didapat tiap jamnya 25 %. Dengan $T = 25$ % ditarik garis lurus menyentuh kurva, kemudian ditarik kekiri, maka didapat nilai $P = 29,5\%$.

TABEL 6. Persen distribusi kedalaman hujan

	0	25	50	75	100
Kumulatif	0	29,51	64	88,20	100
Tiap Jam	0	29,51	34,44	24,25	11,80

Tabel 7 menunjukkan distribusi kedalaman hujan tiap jam. Besarnya distribusi hujan jam ke-1 dihitung dengan mengalikan persen distribusi kedalaman hujan tiap jam yaitu 29,51 % dikali 113,8 mm maka didapat distribusi kedalaman hujan pada jam ke-1 sebesar 35,7 mm. Berdasarkan pengamatan dan analisis data hujan maka dalam penelitian ini akan diuji 6 (enam) model karakter hujan yang mewakili kondisi di lapangan seperti yang disajikan dalam Tabel 8.

TABEL 7. Distribusi kedalaman hujan

Kala Ulang	P (mm)	Distribusi hujan pada jam ke-			
		1	2	3	4
2	113,8	35,7	34,5	24,8	18,6

TABEL 8. Rancangan Model Hujan

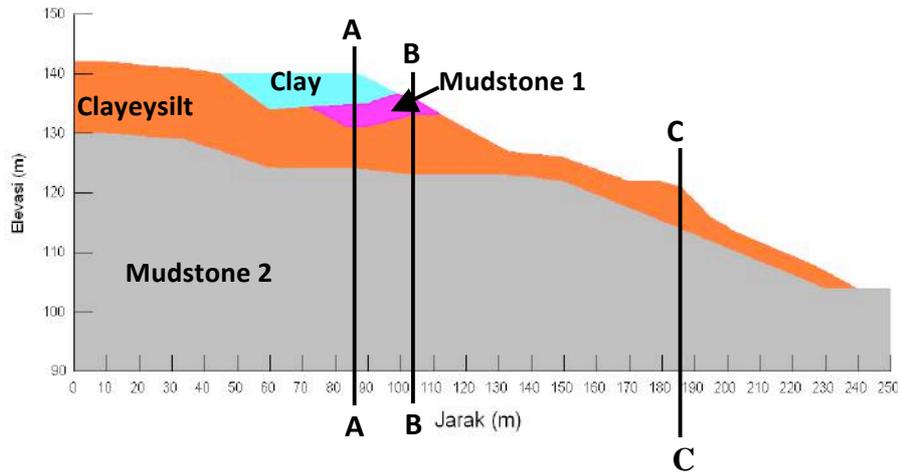
Pola hujan	Intensitas (mm)	Tujuan
Tanpa hujan		Mengetahui kondisi awal lereng sebelum hujan.
Hujan deras, durasi pendek selama 4 jam	113,8	Mengetahui pengaruh hujan deras dengan durasi pendek terhadap gerakan pada lereng.
Hujan normal 40 mm selama 3 minggu, berhenti selam 10 hari, hujan normal 25 mm selama 24 hari	40 dan 25	Mengetahui pengaruh hujan normal yang terjadi dalam durasi panjang dengan variasi intensitas hujan yang berbeda terhadap gerakan pada lereng.
Hujan normal selama 3 minggu, berhenti 10 hari, hujan lagi 4 minggu	20	Mengetahui pengaruh hujan normal dengan durasi panjang dengan intensitas yang sama terhadap gerakan pada lereng.
Hujan deras 1 hari, diikuti hujan normal selama 20 hari	113,8 dan 20	Mengetahui pengaruh hujan deras yang diikuti hujan normal terhadap gerakan pada lereng
Hujan normal selama 20 hari, diikuti hujan deras 1 hari	20 dan 113,8	Mengetahui pengaruh hujan normal yang diikuti hujan deras.

Diskusi

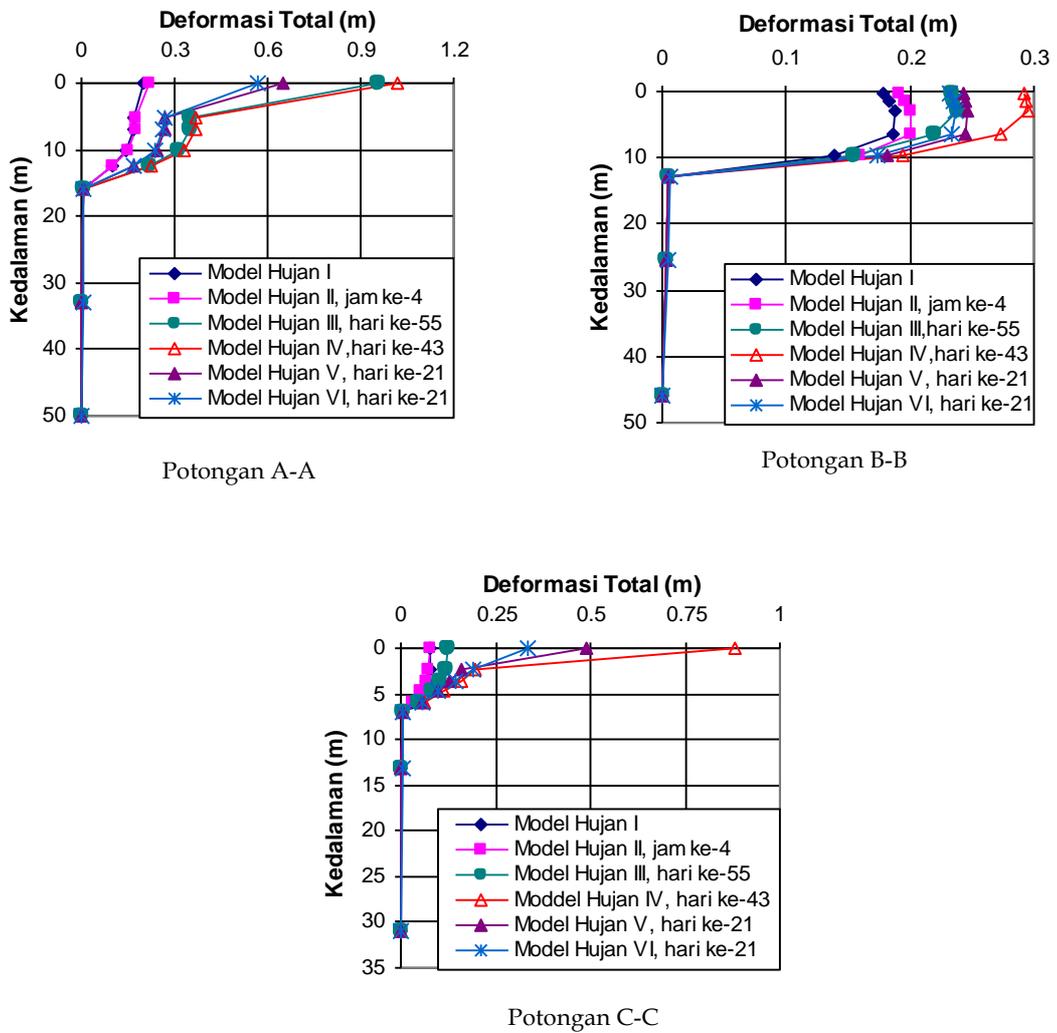
Untuk mempermudah mengamati gerakan atau deformasi lereng, maka dibuat potongan melintang pada 3 titik berbeda yaitu potongan A-A potongan B-B dan potongan C-C yang berada pada kemiringan lereng yang berbeda seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Dari Gambar 11 maka pengaruh karakteristik hujan terhadap gerakan atau deformasi pada lereng dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

Gerakan atau deformasi lereng sebelum hujan sangat kecil karena hanya dipengaruhi oleh beban massa tanah. Dengan hujan deras, durasi pendek (Model Hujan II) gerakan lereng juga masih sangat kecil, tidak jauh berbeda dengan gerakan lereng sebelum hujan (Model Hujan I). Dapat dikatakan hujan deras durasi pendek tidak berpengaruh pada gerakan lereng di KM 15,9. Hal ini disebabkan durasi yang singkat sehingga hujan belum berinfiltrasi secara baik ke dalam tanah. Selain itu, secara umum lereng tersusun atas tanah lempung dan lanau dengan karakteristik tanah yang berbutir halus, nilai koefisien permeabilitas kecil, sehingga apabila intensitas hujan yang terjadi lebih besar dari pada koefisien permeabilitasnya nilai ($i > k$) maka air akan sulit masuk ke dalam tanah dan akan lebih banyak yang melimpas.



GAMBAR 10. Potongan melintang



GAMBAR 11. Deformasi total

Karakteristik hujan yang menyebabkan gerakan atau deformasi lereng terbesar adalah hujan normal 20 mm, durasi panjang (Model Hujan IV). Pada potongan A-A, hujan normal 25 dan 40 mm, durasi panjang (Model Hujan III) menyebabkan pergerakan yang lebih besar dari pada model hujan kombinasi (Model Hujan V dan Model Hujan VI) tetapi pada potongan B-B dan C-C sebaliknya, Model Hujan kombinasi (Model Hujan V dan VI) menyebabkan pergerakan yang lebih besar dari pada hujan normal 25 dan 40 mm, durasi panjang (Model Hujan III). Hal ini disebabkan perbedaan kondisi topografi antara potongan A-A dengan potongan B-B dan C-C. Potongan A-A terletak pada kemiringan lereng yang relatif datar, sehingga bila hujan yang terjadi adalah hujan normal dengan kedalaman hujan 25 dan 40 mm, durasi panjang, maka dengan intensitas/kedalaman hujan yang lebih besar dari pada nilai koefisien permeabilitas tanah maka air akan sulit berinfiltrasi ke dalam tanah dan menggenang di permukaan tanah.

Durasi yang panjang menyebabkan air yang tergenang tersebut perlahan-lahan akan berinfiltrasi ke dalam tanah. Seiring waktu, masuknya air ke dalam tanah akan mengisi ruang antar butiran tanah dan meregangkan ikatan antar butiran tanah, kohesi atau lekatan antar butiran berkurang, kuat geser tanah juga berkurang, sehingga terjadi gerakan atau deformasi pada lereng. Selain itu, masuknya air ke dalam tanah juga akan menambah kandungan air dalam tanah, sehingga massa berat tanah bertambah pula.

Potongan B-B dan C-C terletak pada kemiringan lereng yang lebih curam dari pada potongan A-A sehingga dengan hujan normal 25 dan 40 mm, durasi panjang, air yang belum terinfiltrasi tidak menggenang pada permukaan seperti pada potongan A-A, tetapi air tersebut sebagian besar akan melimpas mengikuti kemiringan lerengnya.

Pada kondisi ini lebih banyak air yang melimpas dari pada yang berinfiltrasi, maka gerakan atau deformasi lereng juga lebih kecil. Gerakan atau deformasi lereng akibat hujan kombinasi (Model Hujan V dan VI) pada potongan B-B dan C-C akan lebih besar karena kedalaman/intensitas hujan normal yang lebih kecil dari pada koefisien permeabilitas tanah menyebabkan akan lebih banyak air berinfiltrasi dari pada yang melimpas.

Berdasarkan hasil simulasi mekanisme gerakan lereng dikontrol oleh beberapa faktor sebagai berikut ini.

1. Topografi lereng

Kemiringan lereng atau gradien hidrolik sangat berpengaruh terhadap jumlah air yang dapat berinfiltrasi ke dalam tanah. Semakin curam kemiringan lereng atau semakin besar nilai gradien hidrolik, maka akan semakin sedikit air yang dapat berinfiltrasi ke dalam tanah, karena sebagian air hujan akan melimpas (*run off*) dan menjadi aliran permukaan.

2. Kondisi geologi lereng

Kondisi geologi lereng berupa lapisan tanah penyusun lereng dan batuan akan berpengaruh terhadap bentuk dan besarnya gerakan atau deformasi lereng yang akan terjadi. Secara umum lereng di KM 15,9 tersusun atas empat lapisan tanah yaitu lapisan tanah lempung, lempung kelanauan, batu lempung 1 dan batu lempung 2.

Gerakan atau deformasi lereng terjadi hanya sampai pada lapisan lempung kelanauan yaitu pada potongan A-A pergerakan atau deformasi terjadi sampai kedalaman 15-16 m, sedangkan potongan B-B gerakan atau deformasi terjadi sampai pada kedalaman sekitar 10 m dan untuk potongan C-C gerakan atau deformasi terjadi sampai pada kedalaman 6 m. Setelah kedalaman tersebut gerakan atau deformasi mendekati nol atau cenderung tidak bergerak lagi. Hal ini disebabkan, setelah kedalaman tersebut terdapat lapisan batu lempung 2 yang merupakan tanah keras, tanah dasar dengan nilai modulus elastis (E) yang besar yaitu $E = 1400000$ kPa. Nilai kekakuan tanah yang besar, menyebabkan lapisan batu lempung 2 memiliki kekuatan yang jauh lebih besar dibandingkan lapisan-lapisan di atasnya.

3. Kondisi hidrologi lereng

Kondisi hidrologi lereng dipengaruhi oleh nilai koefisien permeabilitas lapisan penyusun lereng, dan karakteristik hujan yang terjadi. Apabila intensitas hujan yang terjadi lebih besar dari pada nilai koefisien permeabilitas ($i > k$), maka sebagian air tidak dapat infiltrasi ke dalam tanah, tetapi dapat langsung melimpas ataupun menggenang tergantung topografi, karakteristik tanah dan durasi hujan. Untuk

pengaruh karakteristik tanah dan topografi telah diuraikan di atas. Apabila durasi hujan yang terjadi pendek maka air akan melimpas, sedangkan apabila durasi hujan yang terjadi cukup panjang dari beberapa hari sampai beberapa minggu, air akan menggenang dan seiring waktu akan berinfiltrasi masuk ke dalam tanah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Material lereng penyusun lereng terdiri atas lempung, lempung kelanauan, dan batu lempung.
2. Ada dua tipe hujan yang sering terjadi di lokasi penelitian, yaitu hujan deras berdurasi pendek dan hujan normal berdurasi panjang. Berdasarkan hasil analisis data kedalaman hujan harian yang diperoleh dari stasiun penakar hujan Kalibawang selama kurun waktu tahun 1985 sampai tahun 2004 diperoleh hujan harian maksimum dengan kala ulang 2 tahun sebesar 113,8 mm dan durasi dominan 4 jam per hari. Untuk distribusi kedalaman hujan diperoleh dari analisis statistik data hujan jam-jaman. Kedalaman hujan normal yang biasa terjadi adalah 20-50 mm/hari dan durasi tiga minggu berturut-turut, berhenti sepuluh hari, dilanjutkan hujan selama 24 hari sampai 4 minggu.
3. Pada penelitian ini didesain model hujan berdasarkan hujan yang terjadi di lapangan, yaitu model hujan yang mewakili hujan deras durasi pendek, hujan normal durasi panjang dan kombinasi hujan deras dan hujan normal. Ada enam model hujan yang digunakan dalam simulasi ini yang disusun berdasarkan variasi intensitas dan durasi hujan.
4. Hasil penelitian menunjukkan gerakan atau deformasi lereng oleh hujan deras durasi pendek (Model Hujan II) sangat kecil, sehingga bisa dikatakan hujan deras durasi pendek tidak berpengaruh pada gerakan atau deformasi lereng. Karakteristik hujan yang paling berpengaruh pada lereng adalah hujan normal 20 mm yang terjadi selama 61 hari (model hujan IV), yang menyebabkan

gerakan atau deformasi lereng terbesar, yaitu sebesar 1,01 m pada hari ke-43.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L.W., Lee S., Thomas, Sharma Sunil, Boyce M., Glenn (1996). *Slope Stability and Stabilization Methods*, New York: John and Wiley&Sonc, Inc.
- DEPKIMPRASWIL (2002). *Identifikasi dan Penelitian Geologi Teknik Saluran Induk Kalibawang*, Yogyakarta: Direktorat Jendral Sumber Daya Air.
- Fredlund, D.G., & Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanic for Unsaturated Soils*, Canada: John Wiley and Sons.
- Karnawati, D. (2001). *Tanah Longsor di Indonesia, Penyebab dan Upaya Mitigasinya*, Prosiding Stadium General Pencegahan dan Pengangan Bahaya Tanah longsor, Prosiding Kumpulan Makalah, KMTS UGM, Yogyakarta.
- Sri Harto, Br. (2000). *Hidrologi-Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Yogyakarta: Nafiri.
- Varnes, DJ. (1978). *Slope Movement Types and Processes Landslide Analisis and Control*, Special 176, Eds Roberts I. Schuters and Raimond J. Krizak, pp 12-23, Washington DC.
- Veasna, Long (2005). *Effect of Rainfall on Procces of Landslide in Tropical Soil in Indonesia*, Tesis, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

PENULIS:

Sri Haryanti✉

Alumni S2 Geoteknik, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2, Yogyakarta.

✉Email: sriharyanti_98@yahoo.com

Kabul Basah Suryolelono, Rachmad Jayadi

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2, Yogyakarta.