



- <i>Cholid Mahmud</i> Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Terhadap Sifat Mekanis Beton	1 - 10
- <i>Nurokhman</i> Fiber Gelas Ex Limbah Porselen Sebagai Bahan Tambah pada Beton Normal	11 - 18
- <i>Agus Setyo Muntohar</i> Pengaruh Renbesan dan Kemiringan Lereng Terhadap Keruntuhan Lereng	19 - 28
- <i>Indra Suharyanto dan Wawan Arfianto</i> Peningkatan Kualitas Pelayanan Pt. Cipta Graha Nusalaras Dengan Metode <i>Quality Function Deployment (QFD)</i> Terhadap Konsumen Perumahan Di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta	29 - 38
- <i>Singgih Subagyo</i> Manajemen Supervisi Proyek Jalan	37 - 52
- <i>Suryanto</i> Kalibrasi Model Gravity Matriks Asal Tujuan Penumpang Bus AKAP Jurusan Yogyakarta-Surabaya Kelas Ekonomi	53 - 62



JURNAL BIDANG TEKNIK SIPIL
Vol. I No. 2 Agustus 2006

DAFTAR ISI

- Cholid Mahmud Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Terhadap Sifat Mekanis Beton	1 – 10
- Nurokhman Fiber Gelas Ex Limbah Porselen Sebagai Bahan Tambah pada Beton Normal	11 – 18
- Agus Setyo Muntohar Pengaruh Renbesan dan Kemiringan Lereng Terhadap Keruntuhan Lereng	19 – 28
- Indra Suharyanto & Wawan Arfianto Peningkatan Kualitas Pelayanan Pt. Cipta Graha Nusalaras Dengan Metode <i>Quality Function Deployment (QFD)</i> Terhadap Konsumen Perumahan Di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta	29 – 38
- Singgih Subagyo Manajemen Supervisi Proyek Jalan	39 – 52
- Nizar Achmad Program Transport Sedimen pada Saluran Aluvial	53 – 62

PENGARUH REMBESAN DAN KEMIRINGAN LERENG TERHADAP KERUNTUHAN LERENG

Agus Setyo Muntohar*

Abstrak: Pengaruh aliran air atau rembesan ke dalam tanah akan mempengaruhi stabilitas lereng. Untuk itu, perlu dilakukan kajian keruntuhan lereng dengan variasi kemiringan lerengnya. Model semi 3-dimensi dibuat berbentuk rangka dengan ukuran 100 cm panjang x 70 cm tinggi x 7 cm lebar. Model lereng dibuat dari pasir dengan kemiringan lereng 30°, 40° dan 60°. Pengujian kuat geser tanah dilakukan pula pada contoh tanah yang mengalami keruntuhan dengan kadar air yang berbeda. Secara umum bahwa kuat geser tanah mengalami penurunan akibat rembesan air. Keruntuhan lereng dengan kemiringan kurang dari 40° hanya terjadi pada bagian kaki lereng, sedangkan untuk lereng dengan kemiringan lebih besar atau sama dengan 40° mengalami keruntuhan di sepanjang tinggi lereng hingga puncak lereng.

Kata kunci: lereng, rembesan, keruntuhan, metode Culmann, model laboratorium

I. PENDAHULUAN

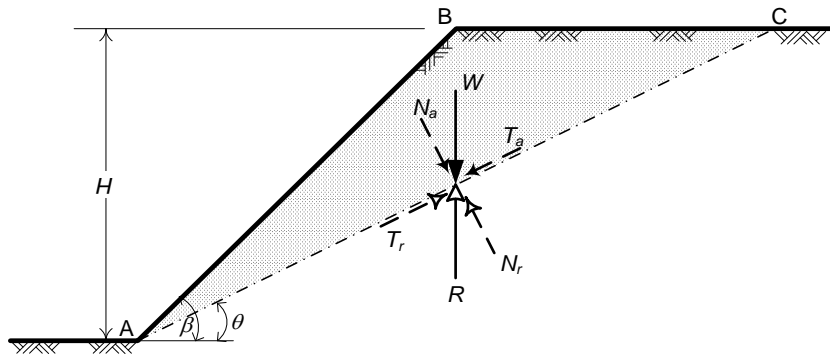
Peningkatan tegangan pada lereng termasuk tekanan air pori akan menurunkan stabilitas lereng yang menyebabkan keruntuhan pada lereng. Masalah keruntuhan tanah dijumpai dalam bangunan-bangunan sipil seperti *embankment* untuk jalan rel dan jalan raya, dan bendungan urugan tanah. Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Untuk itu perlu adanya suatu analisis mengenai kestabilan lereng. Analisis stabilitas lereng merupakan salah satu faktor yang harus diperhitungkan pada suatu lereng tanah untuk mengetahui apakah kondisi lereng masih dalam kondisi aman yang berarti lereng tidak mudah longsor, atau kurang aman yang berarti jika lereng terganggu dengan gaya internal atau eksternal yang bekerja pada lereng tersebut maka lereng mudah longsor. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji mekanisme keruntuhan lereng akibat pengaruh rembesan air ke dalam tanah terhadap keruntuhan lereng.

Analisis Stabilitas Lereng dengan Tinggi Terbatas: Metode Culmann

Analisis didasarkan pada anggapan bahwa kelongsoran suatu lereng terjadi sepanjang bidang, bila tegangan geser rata-rata yang dapat menyebabkan kelongsoran lebih besar dari kekuatan geser tanah. Disamping itu bidang yang paling kritis adalah bidang di mana rasio antara tegangan geser rata-rata yang menyebabkan kelongsoran dengan kekuatan geser tanah adalah minimum (Das,1985; Hardiyatmo, 1992). Pada Gambar 1 suatu lereng dengan tinggi H . Berdasarkan teori *Culmann* nilai kemiringan talud terhadap bidang horizontal adalah β . Sedangkan AC adalah suatu bidang longsor yang diuji.

Dengan memperlihatkan satu kesatuan tebal dari lereng, berat bagian $ABC = W$, (Das,1985). Dapat dinyatakan dalam persamaan (1) sebagai berikut :

* Agus Setyo Muntohar adalah dosen pada Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Gambar 1 Analisis lereng dengan metode Culmann (Das, 1985).

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2}(H)(\overline{BC})(1)(\gamma) \\
 &= \frac{1}{2}H(H \cot \theta - H \cot \beta)\gamma \\
 &= \frac{1}{2}\gamma \times H^2 \left[\frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \beta \cdot \sin \theta} \right] \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

Komponen-komponen W yang tegak lurus dan sejajar terhadap bidang \overline{AC} dapat dinyatakan dalam persamaan (2) dan (3) berikut ini :

$$N_a = W \cos \theta = \frac{1}{2}\gamma \times H^2 \left[\frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \beta \times \sin \theta} \right] \cos \theta \dots\dots\dots (2)$$

dan

$$T_a = W \sin \theta = \frac{1}{2}\gamma \times H^2 \left[\frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \beta \times \sin \theta} \right] \sin \theta \dots\dots\dots (3)$$

Tegangan normal (σ) adalah tegangan yang tegak lurus pada bidang, rata-rata bidang \overline{AC} juga dapat dinyatakan dalam persamaaan (4) dan (5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{N_a}{(AC) \times (1)} = \frac{N_a}{\left(\frac{H}{\sin \theta} \right)} \\
 &= \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \left[\frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \beta \times (\sin \theta)} \right] \cos \theta \times \sin \theta \dots\dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

dan

$$\tau = \frac{T_a}{(AC) \times (1)} = \frac{T_a}{\left(\frac{H}{\sin \theta} \right)} = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \left[\frac{\sin(\beta - \theta)}{\sin \beta \times (\sin \theta)} \right] \sin^2 \theta \dots\dots\dots(5)$$



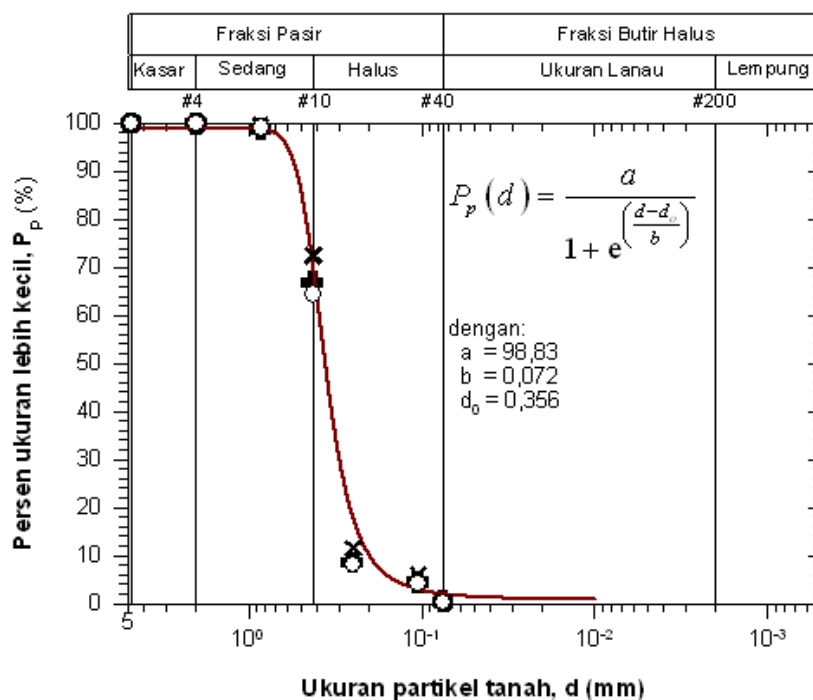
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji mekanisme keruntuhan lereng tanah granuler akibat infiltrasi air. Penelitian dilaboratorium dirancang menjadi beberapa tahapan yaitu :

- Tahap I : merupakan tahapan pengujian awal bahan yang digunakan yaitu meliputi uji sifat-sifat fisik dan indek tanah (seperti berat jenis, berat volume, dan ukuran partikel tanah).
- Tahap II : yaitu tahapan untuk melakukan uji keruntuhan lereng akibat infiltrasi dan rembesan air ke dalam tanah. Pada tahapan ini diuji pula kadar air pada bagian lereng yang runtuh dan yang tidak runtuh guna mengetahui derajat pembasahan akibat rembesan air.
- Tahap III : merupakan uji kuat geser tanah dengan berbagai variasi kadar air tanah yang dimaksudkan untuk memperkirakan kuat geser tanah pada saat mencapai keruntuhan lereng. Uji kuat geser tanah ini menggunakan uji geser langsung yang mengacu pada ASTM D3080 (ASTM, 2004).

a. Bahan Yang Digunakan

Bahan utama yang digunakan untuk membuat model lereng adalah pasir sungai yang berasal dari Sungai Progo. Dari hasil pengujian awal diperoleh nilai berat spesifik pasir rata-rata (G_s) adalah 2,93 dengan sebaran data terdistribusi normal seperti pada Gambar 1, sedangkan berat volume kering (γ_d) pasir rata-rata adalah 2,67 g/cm³. Tanah di lokasi penelitian ini adalah tanah berpasir pasir yang mempunyai distribusi ukuran partikel tanah seperti terlihat pada Gambar 2.



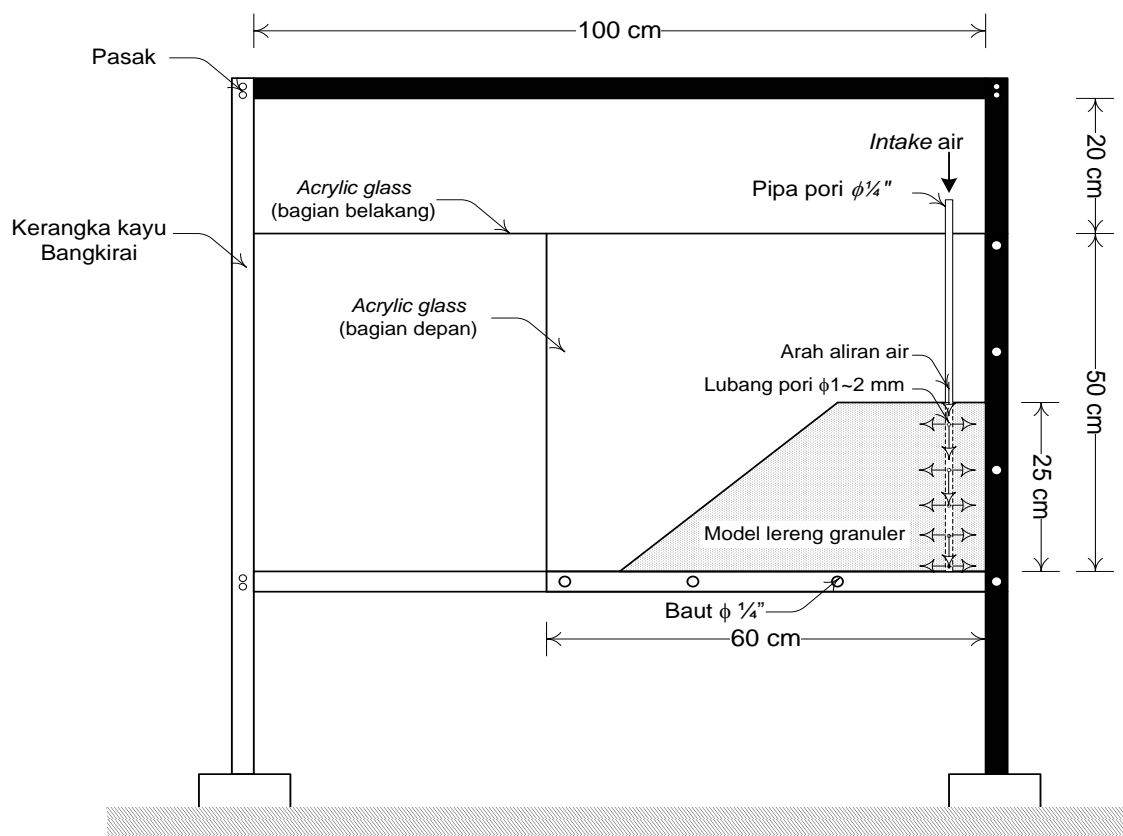
Gambar 1 Kurva distribusi ukuran partikel tanah untuk pasir yang digunakan.

Untuk pembuatan model lereng, pasir yang akan digunakan adalah pasir yang lolos pada saringan No. 4 (4,75 mm). Berdasarkan kurva distribusi ukuran partikel tanah diatas sebesar 99,6% fraksi pasir dan 0,4% fraksi halus, maka diketahui nilai diameter d_{10} , d_{30} , dan d_{60} masing-masing adalah 0,199 mm; 0,296 mm; dan 0,387 mm.

Nilai koefisien keseragaman, $C_u = 1,945$, dan koefisien kelengkungan $C_c = 1,138$. Menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) maka pasir tersebut diberi simbol SP yaitu pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.

b. Rancangan Model Laboratorium

Alat utama yang digunakan dalam penelitian adalah rangka model semi 3-dimensi. Model semi 3-dimensi dibuat berbentuk rangka dengan ukuran 100 cm panjang x 70 cm tinggi x 10 cm lebar. Pada bagian sisi depan dan belakang diberi dinding dari *acrylic glass* tebal 5 mm. Pada bagian belakang, ukuran *acrylic glass* yang dipasang adalah tinggi 50 cm dan lebar 100 cm, sedangkan pada bagian depan dipasang dengan ukuran tinggi 50 cm dan panjang 60 cm, seperti terlihat pada Gambar 2 berikut ini.

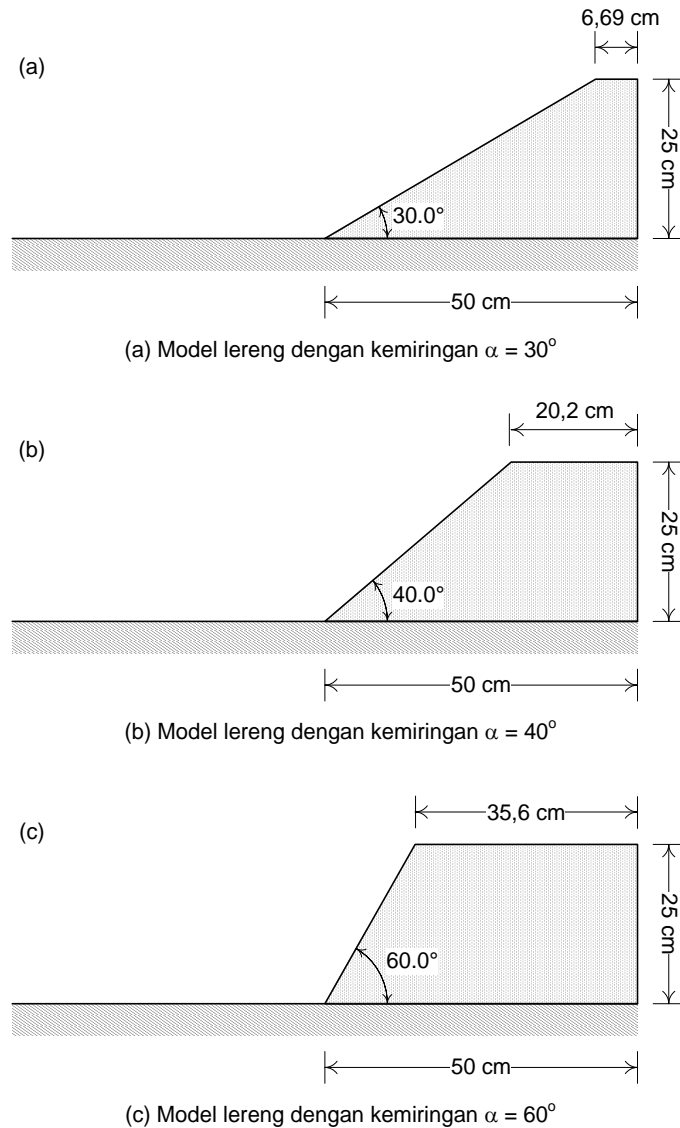


Gambar 2 Sketsa model semi-3D untuk pengujian keruntuhan lereng.

c. Pembuatan model lereng

Lereng tersebut dibuat dalam model semi 3-dimensi di laboratorium dengan skala fisik 1 : 10. Model lereng dibuat dalam tiga kemiringan lereng yang berbeda yaitu 30° , 40° , dan 60° . Tinggi model lereng adalah 25 cm. Lebar bagian bawah model lereng adalah 50 cm, sedangkan lebar bagian atas lereng bervariasi bergantung pada sudut kemiringan lerengnya. Lebar lereng yang ditinjau adalah 7 cm. Model lereng dibuat dari pasir yang dipadatkan pada kondisi 90% dari nilai berat volume keringnya ($\gamma_d = 2,67 \text{ g/cm}^3$) dan kadar air 3%. Sejumlah pasir dicampur dengan 3% air hingga merata, kemudian dimasukkan dalam model pengujian hingga membentuk lereng dengan kemiringan yang diinginkan, seperti terlihat pada Gambar 3 berikut ini :



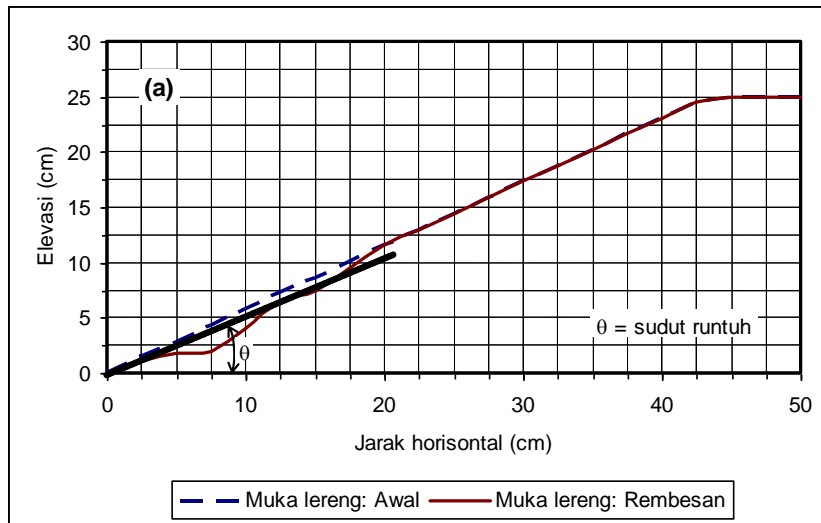


Gambar 3 Ukuran model lereng yang digunakan.

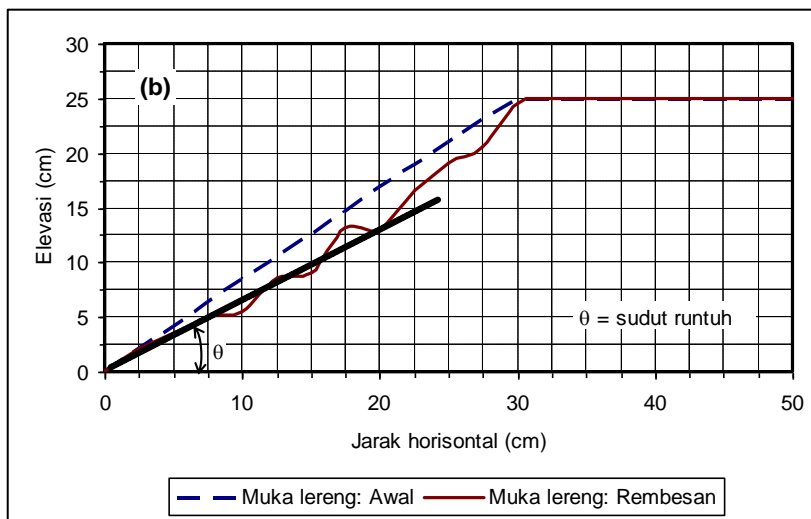
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pola Keruntuhan Lereng

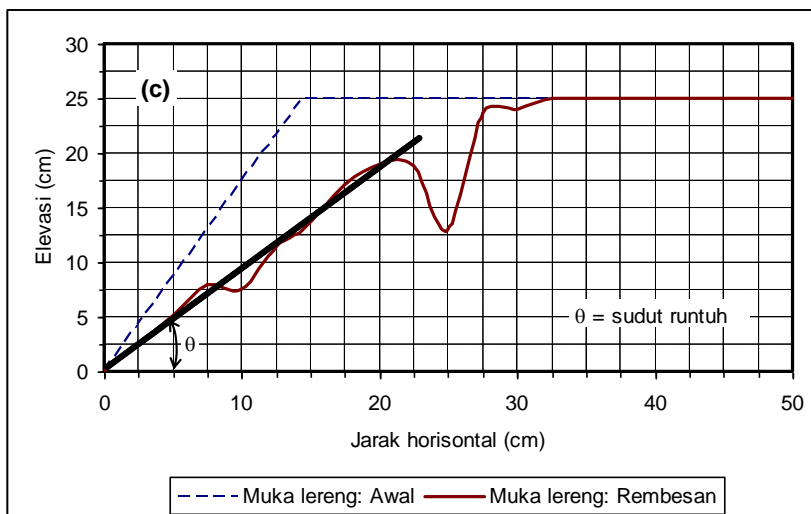
Dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian keruntuhan lereng akibat rembesan air dengan berbagai kemiringan lereng. Pola keruntuhan masing-masing lereng yang dikaji tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Secara umum, masing-masing lereng menghasilkan pola keruntuhan yang berbeda. Akan tetapi, mekanisme keruntuhan lereng tersebut adalah sama yaitu diawali dengan terjadinya rembesan, selanjutnya retakan, dan menyebabkan keruntuhan. Hal ini juga dijelaskan oleh Muntohar (2006), Shang-Lin dan Yu-Ku (2002).



(a) Kemiringan lereng 30°.



(b) Kemiringan lereng 40°.



(c) Kemiringan lereng

Gambar 4 Pola keruntuhan lereng akibat rembesan air.



Lereng dengan kemiringan 30° (Gambar 4a), bagain yang mengalami keruntuhan adalah pada bagian bawah atau kaki lereng. Kondisi lereng yang relatif tidak curam mengijinkan air merembes dengan baik hanya pada bagian kaki lereng. Pola keruntuhan berbeda ditunjukkan pada lerengan dengan kemiringan 40° . Keruntuhan terjadi pada bagian kaki hingga badan lereng (Gambar 4b). Sedangkan pada lerengan dengan kemiringan 60° , keruntuhan terjadi mulai dari kaki lereng, hingga bagian puncak lereng (Gambar 4c). Kondisi dimungkinkan sudut kemiringan lereng yang relatif curam sehingga rembesan air dapat mengalir dengan cepat pada bagian kaki dan badan lereng. Berdasarkan pola keruntuhan lereng ini maka secara umum dapat dikatakan bahwa keruntuhan pada lereng dengan kemiringan hingga 30° terjadi pada bagian kaki lereng. Untuk lereng yang memiliki kemiringan lebih besar dari 30° , keruntuhan terjadi pada bagian badan hingga puncak lereng.

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui pula besarnya sudut runtuh. Sudut runtuh (θ) ini merupakan kemiringan bidang runtuh. Secara umum, sudut kemiringan bidang runtuh semakin besar terhadap kemiringan lereng. Dari pengukuran diperoleh sudut runtuh untuk lereng dengan kemiringan 30° , 40° , dan 60° masing-masing adalah $26,56^\circ$; $30,96^\circ$; dan $40,91^\circ$.

b. Perubahan Kadar Air Akibat Rembesan

Secara teoritis, rembesan air ke dalam lereng akan meningkatkan tekanan air pori yang berakibat pada bertambahnya tegangan geser dan berkurangnya kuat geser tanah. Keadaan ini akan menyebabkan lereng dalam kondisi tidak stabil atau mengalami keruntuhan. Pada penelitian ini, bagian blok tanah yang runtuh ditimbang beratnya dan diambil contoh tanahnya untuk uji kadar air (Tabel 1).

Tabel 1 Berat blok runtuh, kadar air, dan derajat jenuh air akibat rembesan.

Kemiringan lereng	Berat blok runtuh	Kadar air (%)		Angka pori	Derajat jenuh air
	W_{bf} (kg)	Awal, w_i	Runtuh, w_f	e	S_r (%)
60°	4,63	23,08	33,64	0,85	1,16
40°	3,22	17,22	32,48	0,68	1,39
30°	2,98	19,94	28,61	0,70	1,19

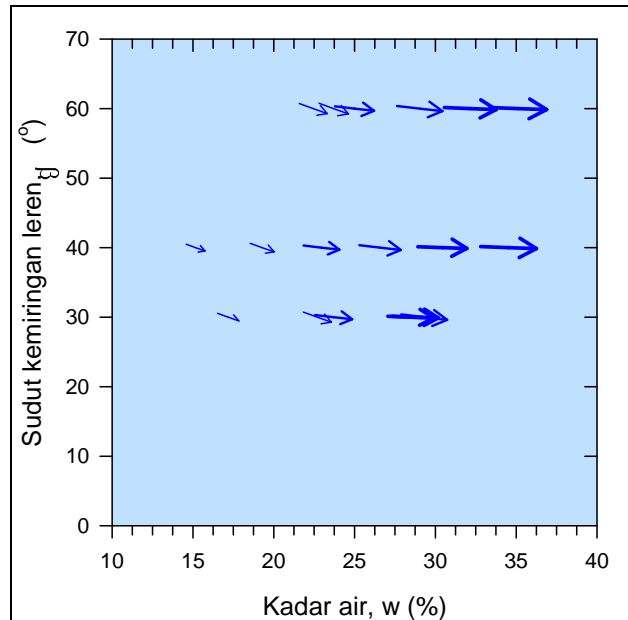
Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa telah terjadi peningkatan kadar air tanah setelah rembesan terjadi hingga menyebabkan keruntuhan tanah. Gambar 5 memberikan ilustrasi tentang perubahan kadar air pada saat sebelum runtuh hingga mengalami keruntuhan untuk setiap kemiringan lereng yang diuji. Peningkatan kadar air merupakan indikasi peningkatan tekanan air pori. Secara umum tanah akan berkurang kekuatannya apabila mempunyai kadar air yang tinggi atau dalam kondisi sangat jenuh air (*saturated*). Pada pengujian ini dapat dibuktikan secara teoritis bahwa bagian tanah yang runtuh telah mencapai kondisi jenuh air (Tabel 1). Ohsuka & Yoshifumi (2001) menyebutkan bahwa peningkatan tekanan air pori menyebabkan terjadinya deformasi menjadi sangat cepat hingga mencapai keruntuhan. Meningkatnya tekanan air pori adalah salah satu penyebab utama keruntuhan lereng.

c. Pengaruh Rembesan Terhadap Kuat Geser

Bila bidang runtuh pada Gambar 4 disederhanakan dengan mengacu pada Metode Culmann (Das, 1985), maka tegangan geser dan tegangan normal yang terjadi

pada bidang runtuh akibat rembesan air dapat dihitung dari berat blok runtuh lereng (W_{bf}). Digunakan persamaan (3.7 hingga 3.9) maka tegangan geser dan normal yang terjadi pada bidang runtuh untuk masing-masing lereng adalah:

- 1) $\beta = 60^\circ \rightarrow \theta = 40,91^\circ : \tau = 779 \text{ kN/m}^2, \sigma' = 899 \text{ kN/m}^2;$
- 2) $\beta = 40^\circ \rightarrow \theta = 30,96^\circ : \tau = 334 \text{ kN/m}^2, \sigma' = 557 \text{ kN/m}^2;$
- 3) $\beta = 30^\circ \rightarrow \theta = 26,56^\circ : \tau = 234 \text{ kN/m}^2, \sigma' = 467 \text{ kN/m}^2.$

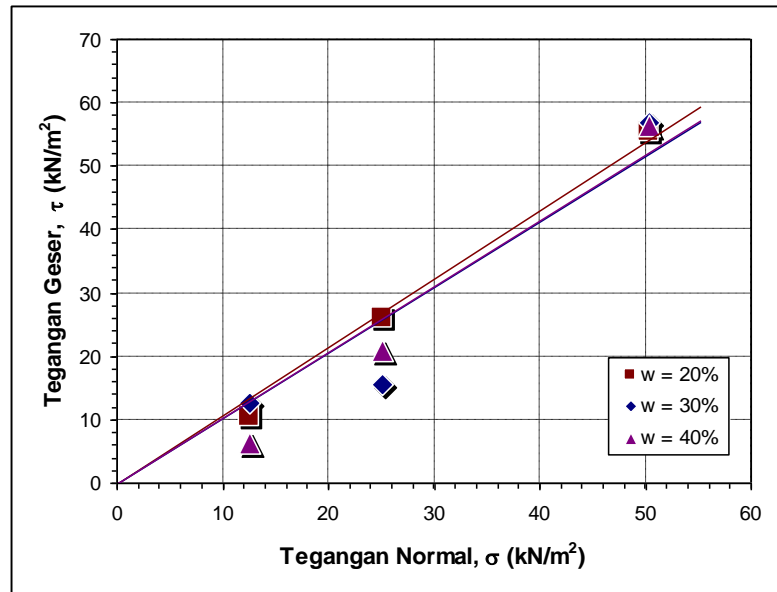


Gambar 5 Perubahan kadar air pada lereng akibat rembesan

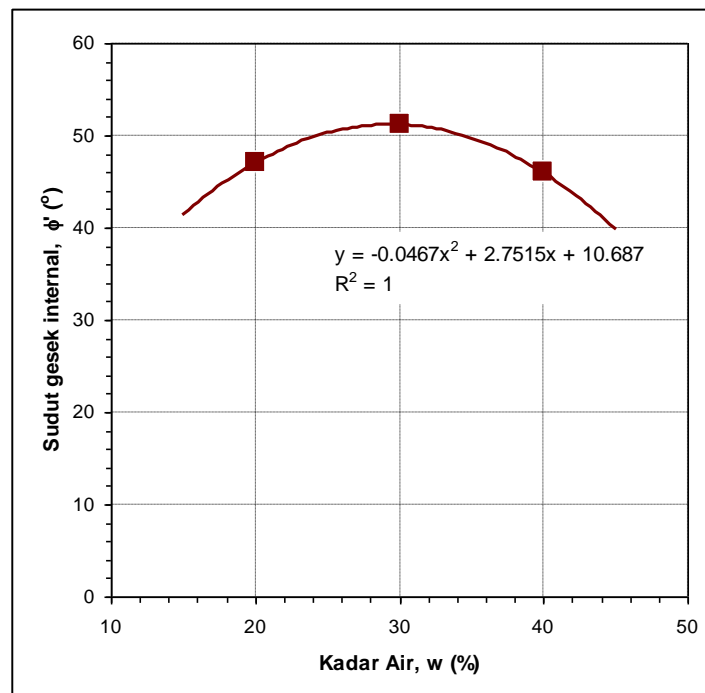
Tegangan geser pada bidang runtuh ini merupakan tegangan yang menyebabkan terjadinya keruntuhan lereng. Berdasarkan penghitungan tersebut, diketahui bahwa tegangan geser akibat rembesan meningkat seiring dengan bertambahnya kemiringan lereng.

Stabilitas lereng ditentukan oleh kuat geser tanah pada bidang runtuh. Menurut teori Mohr – Coulomb, kuat geser tanah ini disumbangkan oleh nilai kohesi (c) dan sudut gesek internal tanah (ϕ'). Pada penelitian ini dilakukan pengujian geser langsung terhadap contoh tanah dengan berbagai kondisi kadar air. Gambar 6a menyajikan hubungan tegangan geser dan tegangan normal untuk berbagai kadar air. Kemiringan garis lurus atau selubung keruntuhan kurva tegangan geser – tegangan normal merupakan sudut gesek internal tanah (ϕ'). Hubungan nilai sudut gesek internal tanah dan kadar air ditunjukkan pada Gambar 6b. Pada gambar tersebut diketahui bahwa nilai sudut gesek internal tanah tertinggi dicapai pada kadar air 30%. Berdasarkan hubungan ini, selanjutnya diperkirakan nilai sudut gesek internal pada saat terjadi keruntuhan lereng berdasarkan kadar air lereng (Tabel 2). Kuat geser tanah yang terjadi pada bidang runtuh dapat dihitung dengan $\tau_f = \sigma' \tan \phi'$.





(a) Tegangan geser – tegangan normal



(b) Hubungan antara sudut gesek internal tanah dan kadar air

Gambar 6 Pengaruh kadar air terhadap sudut gesek internal tanah.

Tabel 2 Sudut gesek internal tanah dan kuat geser.

Kemiringan lereng	Kadar air (%)		Estimasi sudut gesek internal (ϕ)		Kuat geser (kN/m^2)	
	Tidak runtuh	Runtuh	Tidak runtuh	Runtuh	Tidak runtuh	Runtuh
60°	27,02	33,64	50,94°	50,4°	1108	1087
40°	24,77	32,48	50,19°	50,79°	668	683
30°	26,51	28,61	50,81°	44,63°	574	462

Berdasarkan penghitungan kuat geser tanah pada Tabel 2, diketahui secara umum bahwa kuat geser tanah mengalami penurunan akibat rembesan air. Hal ini dapat dilihat dari kuat geser pada bagian lereng yang tidak mengalami keruntuhan dan bagian lereng yang runtuh. Untuk lereng dengan kemiringan 60° , pada bagian lereng yang tidak runtuh memiliki kuat geser 1108 kN/m^2 dan pada bagian yang runtuh kuat geser berkurang menjadi 1087 kN/m^2 . Kondisi serupa juga ditunjukkan pada lereng dengan kemiringan 30° . Hasil ini menunjukkan bahwa rembesan air ke dalam lereng meningkatkan kadar air tanah dan menurunkan kuat geser tanah.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dibuat beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Semakin tinggi derajat kemiringan pada lereng maka bidang runtuh pada lereng akan semakin besar pula. Dari pengukuran diperoleh sudut runtuh untuk lereng dengan kemiringan 30° , 40° , dan 60° masing-masing adalah $26,56^\circ$; $30,96^\circ$; dan $40,91^\circ$.
- b. Keruntuhan lereng dengan kemiringan yang kurang dari 40° terjadi pada bagian kaki lereng, sedangkan keruntuhan di bagian kaki hingga puncak lereng terjadi pada lereng dengan kemiringan lebih dari 60° .
- c. Kadar air pada lereng meningkat 30% hingga 47% akibat rembesan. Peningkatan kadar air tanah ini menyebabkan berkurangnya kuat geser tanah berkisar 2% hingga 19,5%.
- d. Secara umum bahwa kuat geser tanah mengalami penurunan akibat rembesan air.

V. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 2004, ASTM D3080 – 04: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, ASTM International, Pennsylvania, USA.
- Das, B.M., 2002, Principles of Geotechnical Engineering, 5th Edition, Brooks/Coole, New York.
- Hardiyatmo, H.C., 1992, *Mekanika Tanah 2*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Muntohar, A.S., 2006, Mekanisme keruntuhan lereng tegak dan teknik perkuatannya dengan geotekstil, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 6 No.2, pp. 51-66.
- Ohtsuka, S., and Yoshifumi, 2001, Consideration on landslide mechanism based on pore water pressure loading test, *The 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 27-31 August 2001, Istanbul, Turkey. (CD-Room)
- Shang Lin, J. dan Yu Ku, C., 2002, Simulation of slope failure using a meshed based partition of unity method, *The 15th Engineering Mechanics Conference (EM2002)*, 2-5 June 2001, Columbia University, New York. (CD-Room)

