

SIMULASI DISAIN TERAS DAN ANALISIS STABILITAS LERENG UNTUK KONSERVASI TANAH DAN AIR

Simulation of Slope Stability Analysis and Terrace Design for Water and Soil Conservation

Mustafri

Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

ABSTRACT

The terrace development for soil and water conservation often experience the failures such as landslide, like some agriculture farm in Sub-District Banjarwangi, regency of Garut. Considering this problem, it is required to conduct research and analysis on slope stability, especially for the slope with bench terrace. Slope stability is determined by the slope morphology, soil physical and mechanical properties. This research aims to determine the slope stability at a farmland made by terrace, and expected to give recommendation for planning soil and water conservation to avoid landslide. This research was conducted in field, laboratory and with computer simulation. The triaxial test of soil taken in Mulyajaya village, Sub-District of Banjarwangi shows that at the mean density of 1.44 t m^{-3} , the average effective cohesion is 0.15 kgf cm^{-2} and the average internal friction angle is 20.3° for natural condition. Actual terrace at the landslide location is initially stable ($F_s = 1.22$) and become unstable ($F_s = 0.31$) as the soil is nearly saturated with increase of soil water table due to rain. Simulation using the SlopeDesign software which is being developed can ease the prediction of slope stability in order to help land utilization planning for soil and water conservation.

Keyword : simulation, terrace, slope stability, soil conservation

PENDAHULUAN

Pembangunan teras sering mengalami kegagalan seperti terjadinya longsor (*landslide*) sehingga meningkatkan erosi tanah seperti yang terjadi di Desa Ngadirekso Kecamatan Wajak Kabupaten Malang Jawa Timur (Carson 1989). Longsor pada lahan terasering juga terjadi di Sub DAS Wiroko di bagian hulu DAS Solo seluas 404 ha (1,8 %) dari 22.600 ha pada kemiringan lereng di atas 65 % (Fletcher 1990). Data di atas tidak menerangkan longsor yang terjadi secara spesifik, apakah longsor terjadi pada teras secara individu atau beberapa teras secara bersamaan. Longsor juga terjadi di lahan miring lainnya seperti pada beberapa desa di Kecamatan Banjarwangi, Peundeuy, dan Singajaya Kabupaten Garut (Anonim 2002).

Penentuan parameter dimensi teras, terutama jarak vertikal (*vertical interval* = VI) didasarkan pada faktor kemiringan lahan (*slope*). Dari sekian banyak persamaan untuk menentukan VI, hanya beberapa persamaan saja yang mempertimbangkan sifat fisik dan mekanik tanah (ASAE 1998, Suresh 1993, Schwab *et al.* 1981, Hurni 1980, Sheng 1977).

Memperhatikan permasalahan tersebut di atas, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut

terhadap stabilitas lereng terutama yang diberi tindakan konservasi teras dengan melakukan analisa faktor keamanan, F_s (*safety factor*). Analisa stabilitas lereng dilakukan pada lahan pertanian dan pernah mengalami longsor. Stabilitas lereng dipengaruhi oleh sifat fisika dan mekanika tanah (Carrillo 1999, Das 1993, Parkas 1999, Mithaci *et al.* 1999, Sivakumar & Doran 1999, Yashima *et al.* 1999).

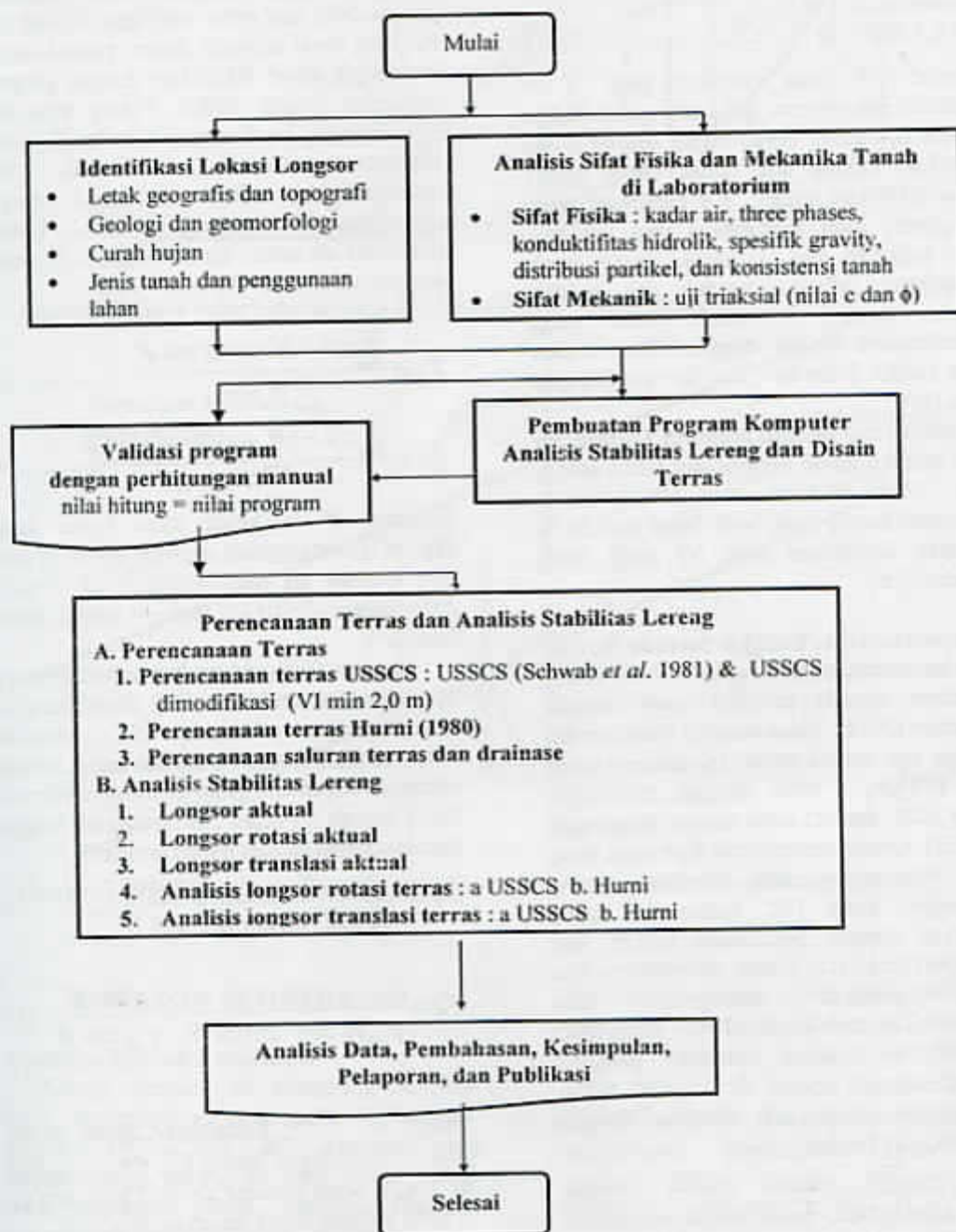
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng pada lahan berteras bangku, sehingga diharapkan dapat menghasilkan tindakan konservasi tanah dan air yang aman terhadap longsor.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini, antara lain : *Theodolit* dan GPS untuk pengukuran kontur lokasi yang sebenarnya, alat untuk pengambilan dan pemeriksaan sampel tanah di laboratorium terutama untuk sifat fisik dan mekanik tanah (analisis distribusi partikel, spesifik gravity, *three phases*, konsistensi tanah, konduktivitas hidrolis, dan uji triaksial). Juga diperlukan perangkat komputer untuk pembuatan program perencanaan teras menurut metode USSCS dan Hurni serta analisis stabilitas

lereng baik untuk kondisi aktual maupun untuk pengecekan stabilitas disain teras. Untuk hal tersebut digunakan bahasa pemrograman komputer. Data yang dihasilkan terdiri dari data primer dan sekunder. Data sekunder meliputi peta Kecamatan Banjarwangi, jenis tanah, tataguna lahan, dan

peta topografi. . Sedangkan data primer merupakan hasil pemeriksaan sifat fisik dan mekanik tanah serta hasil simulasi komputer. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagaimana terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan kegiatan penelitian

Perencanaan Teras Bangku

Perencanaan teras bangku metode USSCS

Persamaan VI untuk teras bangku metode USSCS (*United State Soil Conservation Service*) disajikan dalam persamaan (1) (Schwab *et al.* 1981).

$$VI = 0,3 (XS + Y) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: VI = jarak vertikal (m), X = konstanta penyebaran geografi curah hujan berkisar 0,4 untuk curah hujan sekitar 2000 mm/tahun sampai 0,8 untuk curah hujan sekitar 1000 mm tahun⁻¹, Y = konstanta yang dipengaruhi oleh erodibilitas dan penutup tanah berkisar dari 1 untuk tanah yang berkapasitas infiltrasi rendah dan sedikit tanaman sampai 4 untuk tanah yang erodibilitasnya rendah dengan diberi mulsa paling sedikit 3 ton ha⁻¹, dan S = kemiringan lereng (%).

Disain teras bangku menurut USSCS ini hanya berlaku untuk kemiringan lahan antara 20 % - 30 % (Schwab *et al.* 1981). Untuk kemiringan lereng yang lebih besar dari 30 % dilakukan modifikasi nilai VI yang tidak lebih dari 2 m.

Perencanaan teras bangku metode Hurni

Perencanaan teras bangku metode Hurni didasarkan kepada prediksi erosi dengan persamaan USLE. Teras bangku Hurni terdiri dari tiga tipe utama yaitu: (a) saluran tanpa teras (C1), (b) teras dengan tampungan rumput (C2), dan (c) teras dengan tampungan batu (C3). Untuk menentukan tipe teras yang tepat diperlukan data berikut, yaitu: kemiringan lahan (S), faktor LS yang ditentukan dengan persamaan USLE, dan kedalaman tanah (D). Untuk menentukan tipe teras digunakan nomogram yang dikembangkan oleh Hurni (1980) yang telah ditransfer ke dalam bentuk program komputer.

Besarnya nilai LS dihitung dengan persamaan (2) berikut.

$$LS = \frac{T}{R K C P} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana: T = jumlah erosi maksimum yang diperkenankan (ton tahun⁻¹), R = erosivitas hujan (m ton ha⁻¹) K = erodibilitas tanah (ton ha⁻¹ tahun⁻¹), C adalah faktor pengelolaan

tanaman, dan P = faktor praktek konservasi yang diterapkan.

Analisis stabilitas lereng

Untuk menentukan faktor keamanan lereng terhadap longsor rotasi dilakukan dengan *trial and error* sehingga didapat nilai F_s yang kecil sebagai dasar penentuannya. Prosesnya dapat dilakukan dengan program komputer (Sakai 1990). Faktor keamanan (F_s) dihitung berdasarkan Gambar 2. Untuk kondisi rembesan air tanah tidak diperhitungkan nilai F_s sesuai dengan persamaan (3), sedangkan untuk kondisi rembesan air tanah diperhitungkan F_s sesuai dengan persamaan (4) (Das 1993).

$$F_s = \frac{\sum c'l + W \cos \alpha \tan \phi'}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots(3)$$

$$F_s = \frac{\sum c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi'}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots(4)$$

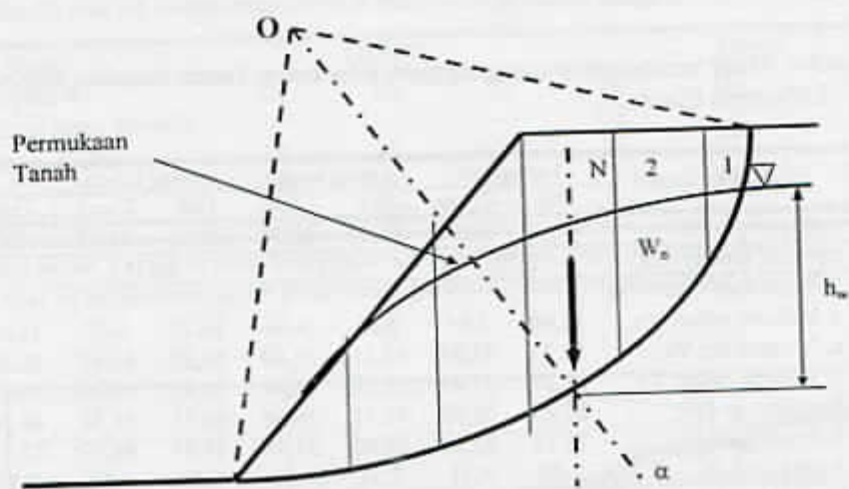
Dimana: W = berat total irisan tanah (kgf m⁻³), l = panjang segmen beban W (m), u = tekanan air pori (kgf m⁻²), ϕ' = sudut geser dalam efektif ($^\circ$), dan c' = kohesi efektif (kgf m⁻²).

Analisis longsor translasi terhadap lereng untuk kondisi rembesan tidak diperhitungkan sesuai dengan persamaan (5), sedangkan untuk analisis longsor translasi untuk kondisi rembesan diperhitungkan menurut persamaan (6) di bawah ini (Das 1993). Bentuk longsor translasi dapat dilihat pada Gambar 3.

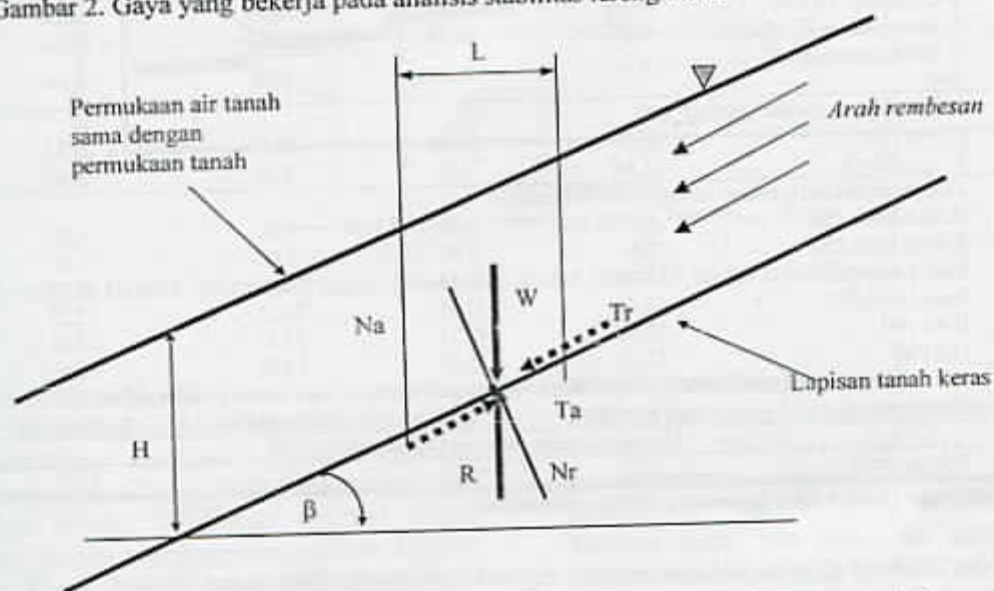
$$F_s = \frac{c'}{\gamma H \cos^2 \beta \cdot \tan \beta} + \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \dots\dots\dots(5)$$

$$F_s = \frac{c'}{\gamma_w H \cos^2 \beta \cdot \tan \beta} + \frac{\gamma' \tan \phi'}{\gamma_w \tan \beta} \dots\dots(6)$$

Dimana: H = Kedalaman tanah efektif (m), β = Kemiringan lereng ($^\circ$), $\gamma' = \gamma - \gamma_w$ (kgf m⁻³), γ_w = berat volume air (kgf m⁻³), dan γ_{sm} = berat volume tanah jenuh air (kgf m⁻³).



Gambar 2. Gaya yang bekerja pada analisis stabilitas lereng untuk



Gambar 3. Gaya yang bekerja pada analisis stabilitas lereng untuk longsor translasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Daerah Penelitian

Lokasi longsor di Kampung Rinyem Desa Mulyajaya terletak pada $07^{\circ}24'04,2''$ LS dan $107^{\circ}52'56,2''$ BT. Longsor yang terjadi berupa gelinciran pada lahan sawah yang berbentuk teras bangku. Hal ini dikarenakan berkurangnya kekuatan geser tanah pada kondisi jenuh saat hujan dan rembesan air dari saluran irigasi dan darinease yang kurang baik. Hasil pengukuran kontur,

kemiringan lereng lahan teras bangku di Kampung Rinyem bervariasi dari datar sampai berbukit. Khusus untuk lereng teras bangku di lokasi longsor berkisar dari 7%-98 % dengan konstruksi teras tradisional. Sedangkan jenis batuan masuk dalam batuan Pliosen Fasies Sedimen. Jenis tanah dibagi dua bagian yaitu (1) Asosiasi Podsolik di bagian Utara dan Barat dan (2) Asosiasi Regosol di bagian Selatan dan Timur.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan dan pengujian sifat fisika Tanah Asosiasi Regosol Banjarwangi Kabupaten Garut

No.	Sifat fisika tanah	Lereng atas		Lereng tengah		Lereng bawah		Rata-rata	
		Und.	Comp.	Und.	Comp.	Und.	Comp.	Und.	Comp.
1.	Kadar air, w (%)	44,81	28,14	51,02	30,72	47,63	29,42	47,82	29,43
2.	Spesifik gravity, G _s	2,701		2,749		2,615		2,69	
	Volume fase tanah (%)								
	a. Volume udara, V _u	14,40	5,64	6,60	4,96	14,72	5,87	11,91	5,49
	b. Volume air, V _a	52,23	46,88	65,11	51,60	51,82	45,67	56,39	48,05
3.	c. Volume padat, V _s	33,37	47,48	28,29	43,44	33,45	48,46	31,70	46,46
	Porositas, n (%)	66,63	52,52	71,71	56,56	66,55	51,54	68,30	53,54
	Kejenuhan, S (%)	78,33	89,30	90,80	91,25	77,91	88,59	82,35	89,71
	Angka pori, e	2,00	1,11	2,54	1,30	1,99	1,06	2,17	1,16
4.	Permeabilitas (mm/jam)	14,83	1,58	1,19	0,23	1,64	0,25	5,89	0,69
	Konsistensi tanah								
	a. Batas cair, LL (%)	35,54		36,36		36,96		36,29	
5.	b. Batas plastis, PL (%)	32,40		36,16		36,88		35,15	
	c. Indek plastisitas, IP (%)	3,14		0,20		0,08		1,14	
	Uji pemadatan standar (proctor test)								
6.	a. w _{opt} (%)	27,87		30,10		28,52		28,83	
	b. γ _{max} (t/m ³)	1,44		1,37		1,39		1,40	
	Distribusi partikel (analisis saringan dan hidrometer)								
	Kerikil kasar (%)	3,29		0,00		0,58		1,29	
	Kerikil halus (%)	7,74		0,56		1,43		3,24	
	Pasir kasar (%)	10,53		32,68		11,60		18,27	
	Pasir halus (%)	12,94		12,33		20,35		15,20	
7.	Debu (%)	49,78		42,73		51,73		48,08	
	Liat (%)	15,72		11,70		14,32		13,91	
	Klasifikasi tekstur tanah menurut United State Departement of Agriculture (USDA) (Das, 1993)								
	Tekstur tanah	liat berdebu		liat		liat berdebu		Liat berdebu	
		Klasifikasi tanah menurut Unified (Das, 1993)							
	Tekstur tanah	(SC)		(SC)		(SC)		(SC)	

Keterangan : Und. = tidak terganggu; Comp. = dipadatkan

Tabel 2. Hasil uji traksial tanah asosiasi regosol Banjarwangi Kabupaten Garut

Lokasi	Lereng atas		Lereng tengah		Lereng bawah		Rata-rata	
	Tidak terganggu	Dipadatkan	Tidak terganggu	Dipadatkan	Tidak terganggu	Dipadatkan	Tidak terganggu	Dipadatkan
γ, t/m ³	1,425	1,802	1,518	1,686	1,375	1,708	1,439	1,732
(kgf/m ³)	(13.974)	(17.670)	(14.886)	(16.788)	(13.483)	(16.749)	(14.114)	(17.069)
c', kgf/cm ²	0,250	1,400	0,035	0,225	0,150	0,540	0,145	0,722
(kgf/m ²)	(2.500)	(14.000)	(350)	(2.250)	(1.500)	(5.400)	(1.450)	(7.217)
φ' (°)	17,867	15,901	24,574	35,834	18,333	33,710	20,258	28,482

Sumber : Mustafri (2003)

Sifat Mekanika dan Fisika Tanah

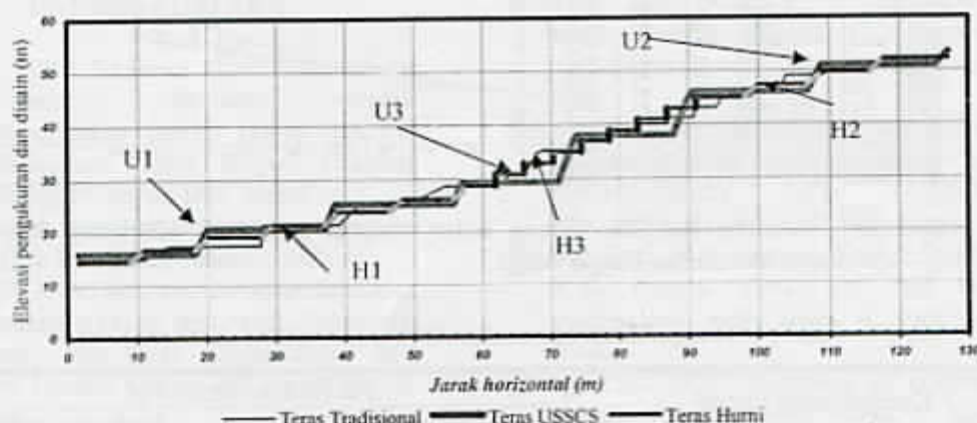
Untuk analisis longsor diperlukan data beratasi tanah (γ), kohesi efektif (c'), dan sudut geser dalam efektif (φ'). Nilai c' dan φ' didapat dari pengukuran tekanan air pori (u)

dari tiga sampel untuk tiap lokasi dan selanjutnya dibuat diagram Mohr-Coulomb (Das 1993, Yashima *et al.* 1999). Hasil pemeriksaan sifat fisika tanah tertera pada Tabel 1 dan uji triaksial tertera pada Tabel 2.

Tabel 3. Nilai VI dan HI disain teras USSCS dan Hurni di lokasi longsor

Metode disain teras	USSCS			Hurni		
	U ₁	U ₂	U ₃	H ₁	H ₂	H ₃
Kode pada Gambar 4.	U ₁	U ₂	U ₃	H ₁	H ₂	H ₃
Tipe teras (khusus teras Hurni)	-	-	-	C2	C2	C3
Kemiringan lahan, S (%)	25	27	48 [*]	25	27	48
Jarak vertikal, VI (m)	4,62	4,92	8,07	2,34	2,41	2,00
Jarak horizontal, HI (m)	18,48	18,22	16,81	9,37	8,91	4,16

*¹ Kemiringan lahan, S = 48 % pada disain teras USSCS tidak dianjurkan, karena lebih besar dari 30 %, dan nilai VI terlalu besar untuk pelaksanaan galian (*cut*) dan timbunan (*fill*) di lapangan.



Gambar 4. Bentuk lahan hasil disain teras USSCS dan Hurni di lokasi penelitian

Perencanaan Teras

Teras tradisional di lokasi secara umum dapat dibagi kedalam 3 (tiga) kemiringan lahan, yaitu : 25 %, 27 %, dan 48 %. Pada lahan tersebut dilakukan simulasi disain teras dengan menggunakan metode USSCS dan Hurni. Bentuk lahan hasil disain teras USSCS dan Hurni di lokasi penelitian tertera pada Gambar 4.

Hasil perhitungan VI dan HI dengan program SlopeDesign disajikan dalam Tabel 3. Lereng atas mempunyai kemiringan rata-rata 27 %, lereng tengah 48 %, dan lereng bawah 25 %.

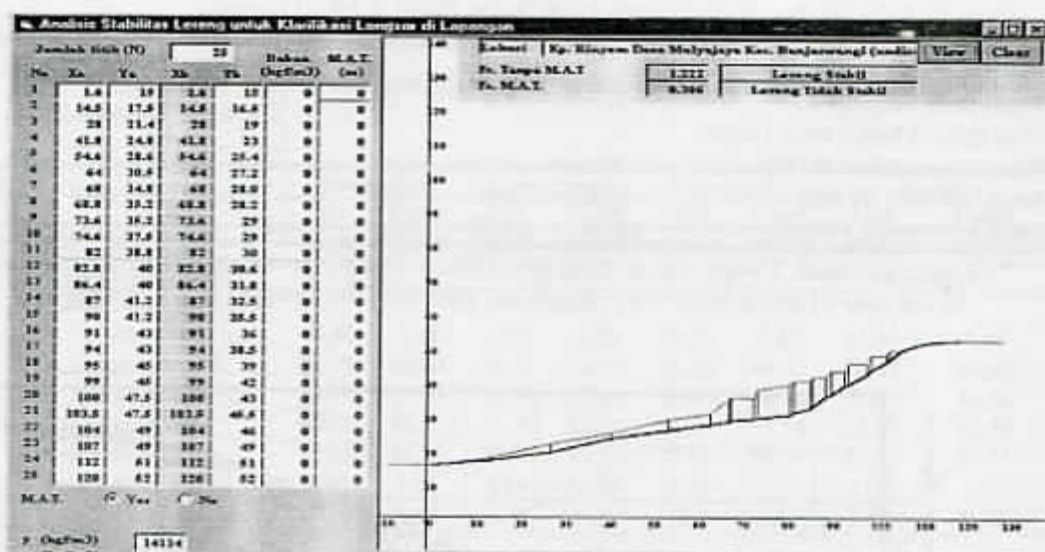
Nilai disain VI teras USSCS jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai VI teras Hurni, demikian juga dengan HI-nya. Khusus teras Hurni terpilih dua tipe teras, yaitu C2 (teras dengan tampingan rumput) untuk kemiringan lahan 25 % dan 27 %, sedangkan untuk S = 48 % terpilih tipe C3 (teras dengan tampingan batu).

Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng teras aktual

Hasil analisis stabilitas lereng menggunakan program Slope Design menunjukkan bahwa lereng berada dalam keadaan aman bila muka air tanah tidak diperhitungkan dalam perhitungan faktor keamanan (F_s). Analisis ini dilakukan terhadap setiap karakteristik contoh tanah yang diambil di lokasi longsor, baik untuk kondisi tidak terganggu maupun dipadatkan. Salah satu bentuk perhitungan stabilitas untuk klarifikasi longsor di lapangan dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil perhitungan F_s selengkapnya tertera pada Tabel 4.

Hasil analisis pada Tabel 4 terlihat lereng tidak stabil pada saat muka air tanah diperhitungkan atau tanah dalam keadaan mendekati jenuh. Kondisi tanah tidak terganggu F_s (tanpa muka air tanah) = 1,222 sedangkan F_s (muka air tanah) = 0,306.



Gambar 5. Analisis stabilitas lereng untuk longsor aktual di Kampung Rinyem Desa Mulyajaya Kecamatan Banjarwangi

Tabel 4. Hasil perhitungan faktor keamanan lereng (F_s) aktual di lokasi longsor

Kondisi tanah sampel	Faktor keamanan (F_s)	
	Tanpa muka air tanah	Muka air tanah
Tidak terganggu (<i>undisturb</i>)	1,222	0,306
Dipadatkan (<i>compaction</i>)	2,091	0,977

Tabel 5. Nilai F_s dari disain teras USSCS dan Hurni

Metode disain teras	USSCS			Hurni		
Kode pada Gambar 15.	U_1	U_2	U_3	H_1	H_2	H_3
Tipe teras (khusus teras Hurni)	-	-	-	C2	C2	C3
Kemiringan lahan, S (%)	25	27	48	25	27	48
F_s , rotasi (TR)	0,75	0,74	0,72	0,95	0,93	1,70
F_s , rotasi (R)	0,12	0,11	0,09	0,31	0,30	1,08
F_s , translasi (TR)	1,96	1,83	1,07	1,96	1,81	1,62
F_s , translasi (R)	0,97	0,91	0,55	0,96	0,89	1,01

Tanah yang dipadatkan memiliki nilai F_s pada tanpa muka air tanah adalah sebesar 2,091 dan F_s dengan muka air tanah adalah sebesar 0,977. Berdasarkan temuan tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi muka air tanah sangat menentukan stabilitas lereng.

Analisis stabilitas lereng

Nilai F_s teras USSCS dan Hurni pada kondisi muka air tanah diperhitungkan baik untuk analisis longsor rotasi maupun translasi lebih kecil dari 1 atau tidak stabil, sedangkan tanpa memperhitungkan muka air tanah nilai

$F_s > 1$ atau stabil. Hal ini mendukung bahwa longsor terjadi pada kondisi tanah jenuh terutama pada saat hujan terjadi.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil pemeriksaan sifat mekanik tanah rata-rata di Desa Mulyajaya Kecamatan Banjarwangi adalah density (ρ) = 1,44 t m⁻³, kohesi efektif (c') = 0,15 kgf cm⁻², dan sudut gesek dalam efektif (ϕ') = 20,3°. Teras aktual di lokasi longsor stabil ($F_s = 1,22$) dan berubah menjadi tidak stabil ($F_s = 0,31$) jika

tanah mendekati jenuh. Simulasi dengan menggunakan program SlopeDesign yang dibangun dapat mempermudah untuk prediksi stabilitas lereng, sehingga dapat membantu perencanaan penggunaan lahan untuk konservasi tanah dan air. Penelitian selanjutnya disarankan membuat model teras untuk dapat menentukan persamaan matematis disain teras yang stabil terhadap longsor dan tinjauan ekonomis pembuatan teras di lahan pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. Laporan akhir indentifikasi penyusunan rencana tindak penanggulangan daerah rawan bencana di Kabupaten Garut. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor
- ASAE. 1998. Standard engineering practice data (Ed. ke-45), St. Joseph, USA.
- Carson, B. 1989. Soil conservation strategies for upland areas of Indonesia. Columbia. Canada: East-West Environment and Policy Institut Occasional paper No. 9. British.
- Carrillo, A.G., 1999. Slope Stabilization in Residual Soils of Peru. Slope stability engineering, p. 971-975. Yagi, N., Yamagami, T., & J.C., Jiang (Ed.) Balkema, Rotterdam.
- Das, B.M. 1993. Mekanika tanah, prinsip-prinsip rekayasa geoteknis. (Terjemahan Endah NM), Surya IBM. Erlangga. Jakarta.
- Farkas, J. 1999. Investigation and Stabilization of a Sliding Hillside. Slope stability engineering. p. 931-935., Yagi, N., Yamagami, T., & J.C., Jiang (Ed.) Balkema, Rotterdam.
- Fletcher, J.R. 1990. Land resource survey of the Wiroko subwatershed upper Solo watershed. Central Java. Indonesia. (Published Jointly by DSIR Land Resource. New Zealand. Department of Scientific and Industrial Research and the Directories General. Reforestation and land Rehabilitation. Ministry of Forestry Indonesia), DSIR Land Resource Scientific Report 12.
- Hurni, 1980. A nomograph for design of labour-intensive soil conservation measure in rain field cultivations. dalam. R. P. C Morgan (Ed.). Soil Conservation Problem and Prospect. New York: John Wiley & Son, Inc.
- Mithaci, T. 1999. Method for determining design strength parameter for slope stability analysis. Slope stability engineering, p. 781-785. Yagi, N., Yamagami, T., & J.C., Jiang (Ed.) Balkema, Rotterdam.
- Mustafiril. 2003. Aspek fisika dan mekanika tanah asosiasi Regosol Banjarwangi Kabupaten Garut. J. Agrista. Vol. 7: 218-224.
- Sakai, T. 1990. Computer programming method on slope stability analysis (tidak dipublikasikan). JICA DGHE/IPB PROJECT JTA-9a (132), IPB, Bogor.
- Schwab, O.C., R.K. Frevert, T.W. Edminster, K.K. Barnes. 1981. Soil and water engineering. John Wiley & Sons. New York.
- Sheng, T.C. 1977. Protection of cultivated slopes. Terracing step slopes in humid region. Conservation Guide. Guidelines for Watershed Management Forest Conservation and Wildlife Branch. Rome: FAO-UN, Forestry Department, Forest Resources Division.
- Sivakumar, V. & I.G. Doran, 1999. Undrained shear strength of unsaturated compacted clays. Slope Stability Engineering, p. 769-774. Yagi, N., Yamagami, T., & J.C., Jiang (Ed.) Balkema, Rotterdam.
- Stephen, R. 2000. Visual basics graphics programming. 2nd Ed. John Willey & Sons, Inc. Canada.
- Suresh, R. 1993. Soil and water conservation engineering. Standard Publisher Distributors. Jakarta
- Yashima, A. & H. Shigematsu. 1999. Case study a cut slope failure in diatom earth. Slope Stability Engineering, p. 977-981. Yagi, N., Yamagami, T., & J.C., Jiang (Ed.) Balkema, Rotterdam.