

# Pengaruh Kolom C-Rha Terhadap Stabilitas Lereng dengan Pemodelan *Centrifuge*

## *Effect of C-Rha Column on Slope Stability with Centrifuge Modeling*

Dwi Agrina<sup>1</sup>, Wen-Yi Huang<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Sipil, National Central University

<sup>1</sup>dwi.agrina.da@gmail.com\*, <sup>2</sup>wyhung@ncu.edu.tw

### **Abstract**

Landslides are natural disasters around the world. Factors such as slope material, rainfall intensity-duration, earthquake, infiltration, and seepage influence the slope stability because of the decrease in resistance forces or the increase of driving force. This research method uses C-RHA columns to improve slope stability as slope strengthening. C-RHA mortar was made of cement, sand and microsilica from fine rice husk ash (RHA). The effect of C-RHA columns on slope stability simulated by a series of centrifuge modeling tests which were conducted at the Experimental Center of Civil Engineering, National Central University. The slope is prepared by moist tamping method at optimum water content about 12% with a mixture material consist of 20% of fine content (kaolinite) and 80% of quartz sand. The C-RHA columns were penetrated perpendicular to the slope surface. During the test, the acceleration was gradually increased and recorded until the slope collapsed. The test results indicate that slopes Test C-0, Test C-4, Test C-9 and Test C-16 fail at 50, 48, 55, and 65 g, respectively. The first tension cracks of Test C-0, Test C-4, Test C-9 and Test C-16 occur at 40, 40, 45, and 55 g, with the depth and distance from crest of slope are 0.328h and 0.324h, 0.273h and 0.300h, 0.350h and 0.327h, and 0.155h and 0.557h, respectively, where h is the slope height. Then, the second cracks appear at 45, 43, 49 and 65 g, respectively to cause the slope failure. From the side view of slope, the decreasing number of C-RHA column spacing will decrease the depletion mass of slope. The depletions mass normalized by the volume of theoretical planar failure wedge with failure angle of  $\theta = (\beta + \phi) / 2$  are 67.0 %, 64.5%, 59.3% and 48.6%, respectively.

**Keywords:** Spacing Effect, C-RHA Column, Centrifuge Modeling, Slope Stability

### **Abstrak**

Longsor adalah bencana alam yang terjadi di seluruh dunia. Faktor-faktor seperti material lereng, intensitas-durasi curah hujan, gempa, infiltrasi dan rembesan mempengaruhi stabilitas lereng karena penurunan gaya tahanan atau peningkatan gaya penggerak. Metode penelitian ini menggunakan kolom C-RHA untuk meningkatkan stabilitas lereng sebagai perkuatan lereng. Mortar C-RHA terbuat dari semen, pasir dan mikrosilika dari abu sekam padi atau *Rice Husk Ash* (RHA). Pengaruh kolom C-RHA pada stabilitas lereng disimulasikan dengan serangkaian uji pemodelan centrifuge yang dilakukan di Pusat Percobaan Teknik Sipil, National Central University. Pembuatan lereng mengaplikasikan metode pemadatan lembap pada kadar air optimum sekitar 12% dengan bahan campuran terdiri dari 20% kadar halus (kaolinit) dan 80% pasir kuarsa. Kolom C-RHA ditembus tegak lurus permukaan lereng. Selama pengujian, akselerasi ditingkatkan secara bertahap dan dilakukan perekaman hingga lereng runtuh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Uji C-0, Uji C-4, Uji C-9, dan Uji C-16 gagal pada masing-masing 50, 48, 55, dan 65 gram. Retak tarik pertama pada Uji C-0, Uji C-4, Uji C-9 dan Uji C-16 terjadi pada 40, 40, 45 dan 55 g, dengan kedalaman serta jaraknya dari puncak lereng masing-masing adalah 0,328h dan 0.324h, 0.273h dan 0.300h, 0.350h dan 0.327h, serta 0.155h dan 0.557h, dimana h adalah ketinggian lereng. Kemudian, retakan kedua muncul berurutan pada 45, 43, 49 dan 65 g hingga menyebabkan keruntuhan lereng. Dilihat dari sisi lereng, semakin kecilnya jarak kolom C-RHA akan menurunkan massa deplesi lereng. Massa deplesi yang dinormalisasi dengan volume baji keruntuhan planar teoritis dengan sudut keruntuhan  $= (\beta + \phi) / 2$  berturut-turut adalah 67,0 %, 64,5%, 59,3% dan 48,6%.

**Kata kunci:** Efek Jarak, Kolom C-RHA, Pemodelan *Centrifuge*, Stabilitas Lereng

## Pendahuluan

Kondisi topografi Indonesia yang banyak terdapat kontur pegunungan, hal ini merupakan salah satu penyebab utama terjadinya tanah longsor. Bencana tanah longsor yang sering terjadi di Indonesia banyak merenggut korban nyawa dan harta [1]. Tanah longsor (*landslide*) merupakan tipe pergerakan tanah (*mass movement/mass wasting*) yaitu peristiwa alam berupa Bergeraknya massa tanah mengikuti gravitasi secara cepat mengikuti kemiringan lereng [2]. Longsor bisa mendatangkan resiko bencana baik itu resiko sosial maupun resiko ekonomi. Resiko bencana merupakan potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu yang bisa berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, kerusakan atau kehilangan harta, mengungsi, dan gangguan kegiatan masyarakat [3]. Menurut kematian global akibat tanah longsor, Indonesia berada di peringkat teratas bencana alam terutama tanah longsor dalam hal jumlah korban meninggal dan bangunan rusak. Hal ini disebabkan oleh kurangnya teknologi untuk sistem peringatan dini, dan bangunan yang dibangun di atas kaki lereng yang tidak memenuhi standar kode untuk konstruksi. Banyak faktor penyebab terjadinya tanah longsor seperti gempa bumi, angin topan, curah hujan (terutama di daerah tropis), sistem drainase, pembebanan berlebih, pergerakan lereng alami, yang menyebabkan peningkatan tegangan efektif atau hilangnya kekuatan geser lereng [4]. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi stabilitas lereng dan mengurangi dampak tanah longsor serta mengidentifikasi faktor-faktor penyebab tanah longsor. Stabilisasi tanah merupakan salah satu upaya untuk menangani *subgrade* yang kurang baik dapat dilakukan dengan cara dipadatkan atau menambahkan bahan lain (adiktif) yang dapat memperbaiki sifat-sifat tanah [5]. Dalam beberapa tahun terakhir, ada banyak metode studi tentang stabilitas lereng. Teknologi perbaikan tanah berfungsi untuk meningkatkan stabilitas tanah yang sudah banyak dilakukan dan menunjukkan keberhasilannya [6].

Dalam penelitian ini, mortar kolom dengan material sisa telah digunakan untuk stabilitas lereng. *Rice Husk Ash* (RHA) dipilih untuk menggantikan 10% semen pada desain campuran mortar. sekam padi yang didapatkan dari proses penggilingan sebesar 20% dari pengolahan padi dan untuk jumlah abu sekam mencapai 18% dari jumlah sekam [7]. Alasan dipilihnya abu sekam padi adalah karena bahan sisa ini memiliki persentase silika yang besar yang dapat meningkatkan kekuatan kolom, dan bahan ini dapat ditemukan dengan mudah dan bebas di Indonesia. Bahan yang terbuang juga dapat mengurangi biaya. Abu sekam padi memiliki komposisi silika yang sangat tinggi oleh karena itu memungkinkan untuk dijadikan bahan baku alternatif dalam pembuatan beberapa senyawa berbasis silika seperti silika gel dan natrium silikat [8]. Proses pembakaran menghasilkan sekam padi berupa abu sekam padi yang belum banyak dimanfaatkan selain untuk abu gosok [9]

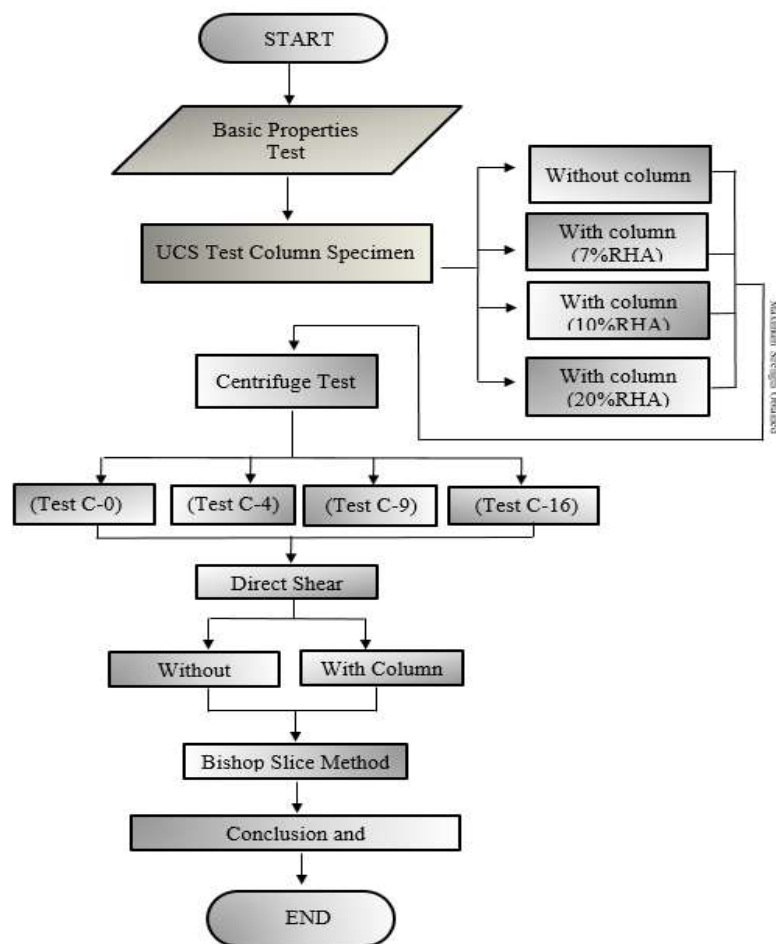
Semakin banyak bahan stabilisasi RHA dan  $\text{CaCO}_3$  yang digunakan akan meningkatkan sifat mekanis tanah uji, Penambahan abu sekam padi dan kapur 4%, 6%, dan 8% untuk bahan campuran stabilisasi tanah pada tanah lempung lunak menyatakan campuran 8% memberikan hasil yang optimum. [10]. Peningkatan persentase abu sekam dalam campuran akan membuat kecenderungan untuk menurunkan kekuatan, tetapi sangat baik untuk mengurangi pengembangan. [11].

Saat ini *centrifuge* telah dikembangkan untuk mensimulasikan kondisi in-situ lereng akibat kondisi gravitasi. Berat realistis tegangan induksi dalam model kasus kecil dapat dengan mudah dibuat di *centrifuge* dan mekanisme kegagalan kemiringan model akan lebih mirip dengan prototipe [12]. Metode *centrifuge* menghasilkan suatu kondisi tegangan dalam model skala kecil yang bisa menampilkan kondisi tegangan pada struktur sebenarnya, maka bobot dari material pada model skala kecil harus ditingkatkan dengan kondisi sebenarnya [13]. Model dan prototipe yang tersusun atas material dengan sifat mekanik yang sama maka strain dalam model dan prototipe juga akan sama [14]. Memutar alat uji sentrifugal pada kecepatan dan dimensi lereng yang berbeda, volume dan karakteristik keruntuhan bisa didapatkan dan bisa dipakai untuk melakukan analisis resiko kemandapan lereng [15].

## Metode Penelitian

Lereng yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari 80% pasir, dan 20% lempung-kaolinit menggunakan kadar air 12% agar mudah dipadatkan. Uji pemodelan *centrifuge* dipadatkan dalam wadah dengan dimensi dalam 736 mm x 385 mm x 200 mm (P x T x L). Wadah ini dirancang dari aluminium.

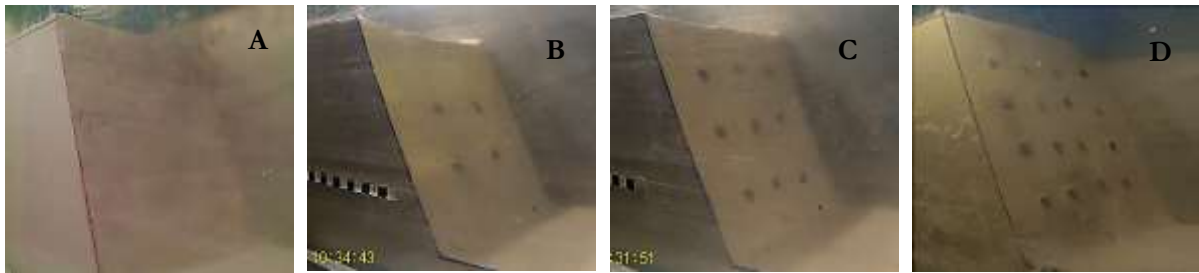
Desain dan Dimensi Campuran Kolom menggunakan abu sekam padi, pasir dan semen. 1) Abu Sekam Padi: Abu sekam padi (RHA) diklasifikasikan sebagai pozzolan yang sangat reaktif. Abu ini memiliki kandungan silika yang sangat tinggi mirip dengan silika fume (SF). Pemanfaatan RHA sebagai bahan pozzolan pada semen dan beton memberikan beberapa keuntungan yaitu peningkatan kekuatan bawah = 43 mm (1,69") dan kiri = kanan 14,32 mm (0,56"). Berat jenis pasir yang digunakan sekitar 2,2 – 2,3. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien kelengkungan (Cc) dari distribusi ukuran butir masing-masing adalah 5 dan 1,45, yang diklasifikasikan ke dalam pasir bergradasi buruk (SP). Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland Tipe I yang dikenal dengan sebutan common atau general purpose cement. Hal ini umumnya diasumsikan kecuali jenis lain ditentukan. Ini biasanya digunakan untuk konstruksi umum. Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian. Semua tahapan direncanakan untuk mempelajari efektivitas penggunaan kolom untuk stabilisasi lereng.



Gambar 1 Tahapan Penelitian



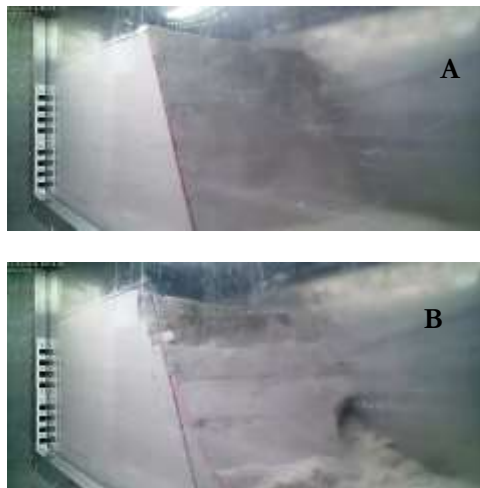
Gambar 2 Kolom setelah 28 hari curing



Gambar 3. Uji konfigurasi dari sisi kamera miring (A) Uji C-0, (B) Uji C-4, (C) Uji C-9 dan (D) Uji C-16

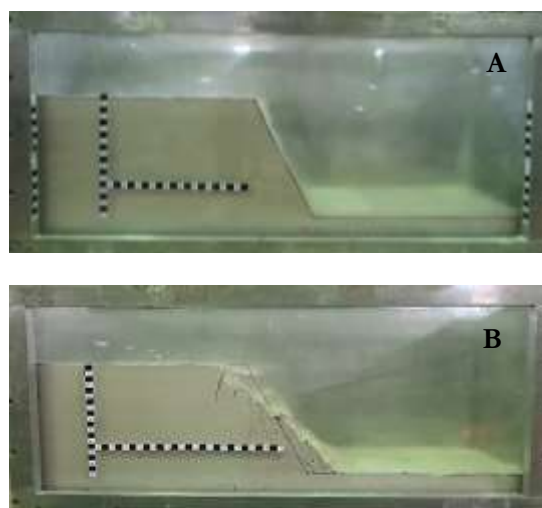
### Hasil dan Pembahasan

Uji C-0: Dalam pengujian ini, model runtuh pada 50 g dan korespondensi tinggi pada prototipe adalah 10 m. Gambar 4 menunjukkan kemiringan keruntuhan sebelum terbang hingga 50 g (A) dan setelah keruntuhan (B).



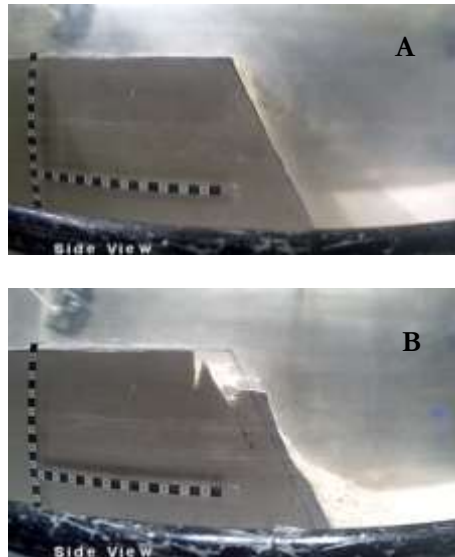
Gambar 4. Uji spesimen C-0 (A) Sebelum uji *centrifuge* (B) Setelah uji *centrifuge* dan runtuh pada 50 g

2Uji C-4: Pada pengujian ini lereng distabilkan dengan 4 kolom. Model runtuh pada 48 g dan korespondensi tinggi dalam prototipe adalah 9,6 m. Gambar 5 menunjukkan kemiringan keruntuhan sebelum terbang hingga 48 g (A) dan setelah keruntuhan (B).



Gambar 5. Uji spesimen C-4 (A) Sebelum uji *centrifuge* (B) Setelah uji *centrifuge* dan runtuh pada 48 g

Uji C-9: Pada pengujian ini lereng distabilkan dengan 9 kolom. Model runtuh pada 55 g dan korespondensi tinggi dalam prototipe adalah 11 m. Gambar 6 menunjukkan kemiringan keruntuhan sebelum terbang hingga 55 g (A) dan setelah keruntuhan (B).



Gambar 6. Uji spesimen C-9 (A) Sebelum uji *centrifuge* (B) Setelah uji *centrifuge* dan runtuh pada 55 g

Uji C-16: Pada pengujian ini lereng distabilkan oleh 16 kolom. Model runtuh pada 75 g dan korespondensi tinggi dalam prototipe adalah 15 m. Gambar 7 menunjukkan kemiringan keruntuhan sebelum terbang hingga 75 g (A) dan setelah keruntuhan (B).

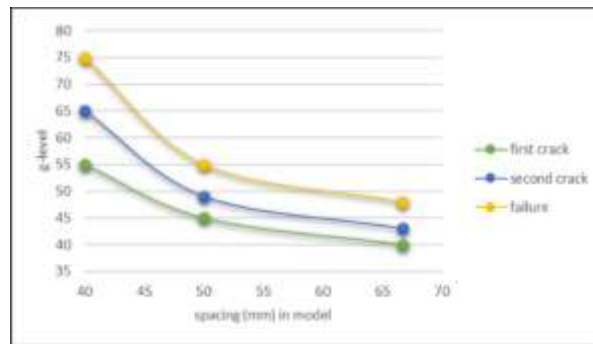


Gambar 7. Uji spesimen C-16 (A) Sebelum uji *centrifuge* (B) Setelah uji *centrifuge* dan runtuh pada 75 g

Angka faktor keamanan lereng meningkat dengan berkurangnya jumlah jarak. Lereng dengan jarak 40 mm mendapatkan retakan pertama, kedua, dan runtuh pada 55 g, 65 g dan 75 g. Lereng dengan jarak 50 mm mendapatkan retakan pertama, kedua, dan runtuh pada 45 g, 49 g dan 55 g. Lereng dengan jarak 66,7 mm mendapatkan retakan pertama, kedua, dan runtuh pada 40 g, 43 g dan 48 g. Gambar 8 memberikan informasi secara detail tentang efek jarak pada setiap penambahan jarak pada model.

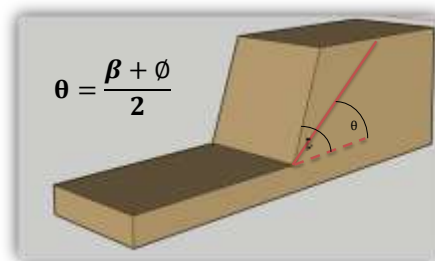
Tabel 1. Percepatan Dan Tinggi Prototipe Pada Waktu Keruntuhan

Model	Unit weight (kPa)	Water content (%)	Spacing (mm)	Acceleration (g)	Slope Height in prototype (m)
Test – C4	16.27	12	66.7	48	9.6
Test – C9	16.27	12	50	55	11
Test – C16	16.27	12	40	75	15



Gambar 8. Hubungan jarak pada retak pertama, kedua dan keruntuhan selama pengujian

Hubungan Depleksi Massa Lereng dengan Jumlah Kolom dilihat dari sisi lereng, peningkatan jumlah C-RHA akan menurunkan massa depleksi lereng. Volume keruntuhan planar baji secara teoritis dengan sudut keruntuhan dapat dihitung dengan rumus di bawah ini.



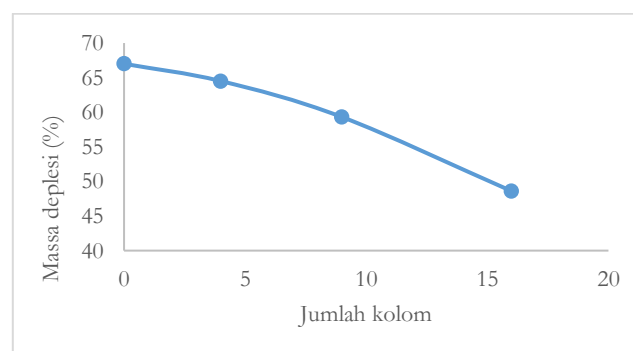
Gambar 9. Analisis Kemiringan Hingga-Metode Culmann

Dimana:

$\theta$ =sudut batas dalam lereng

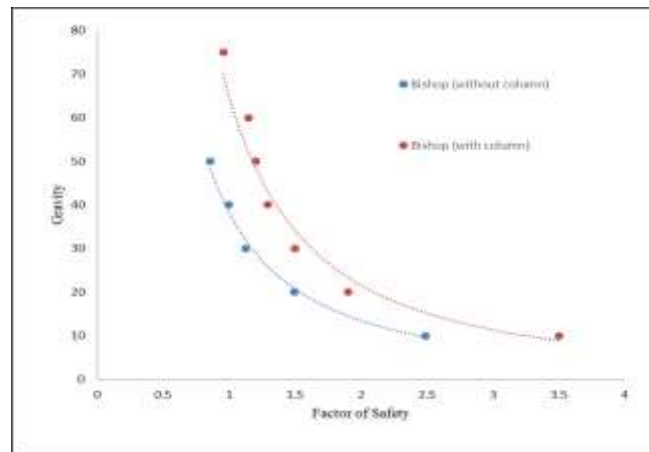
$\beta$ =sudut lereng

$\phi$ =sudut gesekan



Gambar 10. Hubungan antara keruntuhan tanah dan jarak kolom (mm) dalam model

Setelah uji centrifuge, metode Bishop menjadi salah satu cara untuk mendapatkan kenaikan faktor keamanan tertentu. Data geser langsung juga diperlukan untuk mengetahui kenaikan nilai kohesi dan sudut gesek.



Gambar 11. Hubungan antara tingkat g dan faktor keamanan dengan atau tanpa kemiringan kolom

## Kesimpulan

Hasil pengujian UCS setelah 30 hari pemeraman menggunakan 0 %, 7 %, 10 % dan 20 % penggantian semen adalah 1500 kPa, 1999,97 kPa, 2199,9 kPa, dan 1699,98 kPa. Persentase 10% RHA dipilih karena mendapatkan nilai kekuatan tertinggi dan mengurangi biaya material karena penghematan semen dan manfaat lingkungan terkait dengan pembuangan bahan limbah dan pengurangan emisi karbon dioksida. Peningkatan sudut gesek benda uji dengan kolom dibuktikan dengan uji geser langsung. Sudut gesek benda uji tanpa kolom adalah sekitar 21°, dengan memberikan kolom di tengah benda uji memperbesar sudut gesekan menjadi 30°. Kohesi benda uji tanpa dan dengan kolom berturut-turut adalah 13,2 kN/m<sup>2</sup> dan 20 kN/m<sup>2</sup>. Metode irisan Bishop juga diperlukan untuk mendapatkan peningkatan angka keamanan faktor dengan meningkatnya g-level menggunakan data hasil uji centrifuge. Dari hasil tersebut, kolom dapat menjadi salah satu stabilitas lereng yang dapat meningkatkan jumlah faktor keamanan. Untuk membuktikan bahwa jarak kolom akan mempengaruhi stabilitas lereng, maka diperlukan perhitungan massa deplesi. Massa deplesi berkurang dengan berkurangnya jarak kolom. Massa deplesi yang dinormalisasi dengan volume keruntuhan planar baji secara teoritis dengan sudut keruntuhan =  $((\beta + \phi))/2$  untuk Uji C-0, Uji C-4, Uji C-9 dan Uji C-16 masing-masing adalah 67,0 %, 64,5%, 59,3% dan 48,6%.

## Ucapan Terima Kasih

Bagian ini memberikan apresiasi kepada perorangan maupun organisasi yang memberikan bantuan kepada penulis. Ucapan terima kasih kepada pihak sponsor maupun dukungan finansial juga dituliskan di bagian ini.

## Daftar Rujukan

- [1] Apriyono, Arwan. Analisis penyebab tanah longsor di Kalitlaga Banjarnegara. *Dinamika Rekayasa*, 2009, 5.1: 14-18.
- [2] Selby, Michael John. Earth's changing surface: an introduction to geomorphology. *Oxford University Press*, 1985.
- [3] BNPB, Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) No. 02 Tahun 2012, 20 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. *Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)*, Jakarta, 2012
- [4] Somantri, Lili. Kajian Mitigasi Bencana Longsor Lahan Dengan Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh. *Semin. Ikat. Geogr. Indonesia*, 2008, 1-10.
- [5] Abdurrozak, Muhammad Rifqi. Stabilisasi tanah lempung dengan bahan tambah abu sekam padi dan kapur pada subgrade perkerasan jalan. *Teknisia*, 2017, 416-424.
- [6] Suryadharma, Hendra; Hatmoko, John Tri. Perilaku Geser Tanah Yang Distabilisasi Dengan Kapur Abu Sekam Padi Dan Tulangan Serat Sabut Kelapa. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 2018.
- [7] Foletto, Edson Luiz, et al. Conversion of rice hull ash into soluble sodium silicate. *Materials Research*, 2006, 9: 335-338.
- [8] Kamath, Savita R.; Proctor, Andrew. Silica gel from rice hull ash: preparation and characterization. *Cereal Chemistry*, 1998, 75.4: 484-487
- [9] Soeswanto, Bambang; Lintang, Ninik. Pemanfaatan limbah abu sekam padi menjadi natrium silikat. *Jurnal Fluida*, 2011, 7.1: 18-22.

- [10] Saleh, Abdul Rachman; Harwadi, Fuad. Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Dengan Abu Sekam Padi (Rha) Dan Kapur (Caco<sub>3</sub>) Di Kampung Satu Kota Tarakan. *Jurnal Teknik UBT*, 2017, 1.1: 1-6
- [11] Budi, Gogot Setyo. Pengaruh pencampuran abu sekam padi dan kapur untuk stabilisasi tanah ekspansif. *Civil Engineering Dimension*, 2002, 4.2: 94-99.
- [12] Timpong, S.; Itoh, K.; Toyosawa, Y. Geotechnical centrifuge modelling of slope failure induced by ground water table change. *Landslides and Climate Change. London: Taylor and Francis Group*, 2007, 107-112.
- [13] Bucky, Philip Barnett. Use of models for the study of mining problems. *American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Incorporated*, 1931.
- [14] Joseph, P. G.; Einstein, H. H.; Whitman, R. V. A literature review of geotechnical centrifuge modeling with particular emphasis on rock mechanics. 1988.
- [15] Wicaksana, Yudhidya, et al. Simulasi Keruntuhan Lereng Akibat Percepatan Sentrifugal dengan Pemodelan Fisik Simulation of Slope Failure Due To Centrifugal Acceleration By Using Physical Modeling.