

EVALUASI KARAKTERISTIK PERMEABILITAS DAN KETAHANAN TERHADAP *PIPING* MATERIAL PIROKLASTIK HASIL ERUPSI GUNUNG KELUD TAHUN 2014 DAN APLIKASINYA SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL TIMBUNAN

Fianda Hifqi Sandar Nuari¹, Andre Primantyo Hendrawan², Heri Suprijanto³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

³ Dosen Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

e-mail: fiandahifqi16@gmail.com

ABSTRAK: Di Indonesia, batu apung dan material piroklastik ditemukan dalam deposit besar di Sungai Kali Sambong, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, Jawa Timur, namun aplikasinya sebagai material timbunan masih terbatas. Dengan demikian, menjadi sangat penting untuk mempelajari karakteristik mekanik dan ketahanan terhadap bahaya *piping* untuk alternatif material timbunan. Untuk mengevaluasi karakteristik mekanik dilakukan uji pemadatan *Standard Proctor* untuk menentukan nilai kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum sebagai material timbunan. Uji permeabilitas dengan *Constant Head* dilakukan untuk menentukan nilai koefisien permeabilitas. Uji ketahanan terhadap *piping* dilakukan berdasarkan Furumoto et al (2002) dengan kombinasi pada alat dari Fujisawa et al (2013). Dari hasil uji pemadatan *Standart Proctor* didapatkan nilai MDD dan OMC batu apung, material piroklastik dan material pasir masing – masing adalah 1,48 gram/cm³ dengan OMC 15%, 1,95 gram/cm³ dengan OMC 15% dan 1,95 gram/cm³ dengan OMC 15%. Untuk nilai koefisien permeabilitas (k) masing – masing 0,111 cm/dt, 0,0087 cm/dt dan 0,0091 cm/dt. Sedangkan untuk nilai (k) pada uji ketahanan terhadap *piping* masing – masing adalah 0,117 cm/dt, 0,023 cm/dt dan 0,018 cm/dt. Dapat disimpulkan bahwa batu apung memiliki kepadatan yang rendah dengan nilai (k) yang lebih besar dikarenakan batu apung memiliki rongga yang lebih besar untuk dapat meloloskan air.

Kata kunci : Batu Apung, Piroklastik, Permeabilitas, Piping, Timbunan

ABSTRACT : In Indonesia, pumice and pyroclastic materials are found in large deposits in the Kali Sambong River, Ngantang District, Malang Regency, East Java, but their application as a backfill material is still limited. Thus, it becomes very important to study the mechanical characteristics and resistance to piping hazards for alternative backfill material. To evaluate the mechanical characteristics, Standard Proctor compaction test was performed to determine the maximum dry density value and optimum moisture content as the backfill material. The permeability test with Constant Head is performed to determine the permeability coefficient value. The piping resistance test was performed based on Furumoto et al (2002) with a combination of tools from Fujisawa et al (2013). From the result of Standard Proctor compaction test, the value of MDD and OMC of pumice stone, pyroclastic material and sand material are 1.48 gram / cm³ with OMC 15%, 1.95 gram / cm³ with OMC 15% and 1.95 gram / cm³ with OMC 15%, respectively. For permeability coefficient values (k) of 0.111 cm / s, 0.0087 cm / s and 0.0091 cm / s, respectively. As for the value of (k) on the resistance test against piping 0.117 cm / s, 0.023 cm / s and 0.018 cm / s, respectively. It can be concluded that pumice stone has a low density with a larger (k) value based on the fact that the pumice stone has a larger cavity to drain the water.

Keywords : Pumice, Pyroclastic, Permeability, Piping, Backfill

PENDAHULUAN

Gunung Kelud merupakan gunung api yang masih aktif dan terletak di perbatasan Kabupaten Kediri, Kabupaten Blitar, dan Kabupaten Malang Jawa Timur. Gunung api ini termasuk dalam tipe stratovulkan dengan karakteristik letusan eksplosif (Wardhana et al., 2014). Tercatat aktif meletus dengan rentang jarak waktu yang relatif pendek (9-25 tahun) menjadikan Gunung Kelud sebagai gunung yang membahayakan khususnya bagi kawasan Kabupaten Kediri, Kabupaten Blitar, dan Kabupaten Malang. Erupsi yang bersifat eksplosif dari Gunung Kelud mengeluarkan material piroklastik yang dominan berupa abu, pasir, batu apung (*pumice*) dan scoria. Keberadaan material piroklastik beum dimanfaatkan secara maksimal untuk timbunan alternatif. pada tanah timbunan, kondisi *piping* disebabkan karena tanah telah mencapai gradient hidrolis kritis. Kondisi ini menyebabkan terangkutnya butir-butir tanah halus, sehingga menimbulkan terjadinya rongga-rongga pada konstruksi yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan bahkan bisa menyebabkan keruntuhan konstruksi. Karena baha *piping* yang sangat besar maka perlu dilakukan studi untuk mengetahui ketahanan terhadap *piping* dari material piroklastik.

METODE PENELITIAN

Gunung Kelud merupakan salah satu gunung api aktif yang ada di Indonesia, yaitu berada di perbatasan Kabupaten Kediri, Kabupaten Malang, dan Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur. Gunung Kelud secara geografis terletak pada $7^{\circ}56'$ LS dan $112^{\circ}18'30''$ BT dengan ketinggian puncak 1.731 m di atas permukaan laut. Salah satu sungai sebagai tempat dilewati aliran lahar dari Gunung Kelud di Kabupaten Malang adalah Sungai Kali Sambong yang terletak di Desa Pandansari Kecamatan Ngantang. Kemudian dilakukan pengambilan sampel Batu Apung, Material Piroklastik dan Pasir. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Air Tanah Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (untuk pengujian *specific gravity*, analisis saringan, permeabilitas, pemadatan *standard proctor* dan pengujian *piping*).



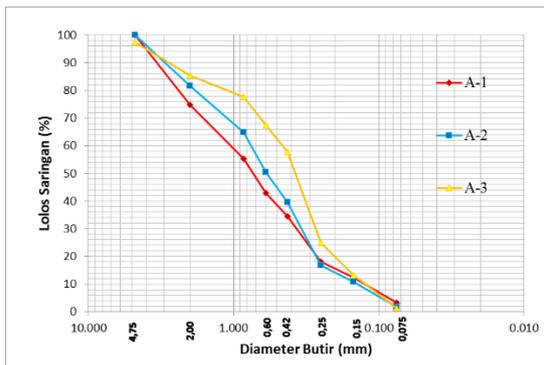
Gambar 1. Lokasi Studi

Setelah dilakukan pengambilan sampel dilapangan selanjutnya dilakukan proses *crushing* material untuk kemudian dilakukan pengujian di Labratorium Tanah dan Air Tanah Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian fisik dan mekanik. Untuk pengujian fisik dilakukan distribusi butiran, dan *specific gravity*. Pada uji gradasi butiran digunakan untuk mengetahui suatu tanah bergradasi baik, bergradasi buruk dan bergradasi seragam serta mengetahui ukuran butiran tanah. Sedangkan uji *specific gravity* untuk menentukan nilai GS yang digunakan sebagai salah satu faktor menentukan kerapatan (*density*) tanah, kerapatan relatif (*relative density*) dan angka pori (*void ratio*) Sedangkan pengujian mekanik dilakukan uji pemadatan (*Standard Proctor*), uji permeabilitas (*Constant Head*). Serta uji ketahanan terhadap *piping* menggunakan rancangan alat yang diadopsi dari referensi Furumoto et al (2002) dan Fujisawa et al (2013), yang kemudian terbentuk satu alat yang digunakan untuk melihat ketahanan terhadap *piping* material ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Karakteristik Fisik

Pada penelitian ini sampel yang digunakan adalah Batu Apung, Material Piroklastik, dan Pasir yang masing- masing disepakati dengan symbol secara berurutan (A-1), (A-2), (A-3). Pengujian karakteristik fisik dilakukan uji gradasi butiran (*sieve analysys*) dan uji berat jenis (*specific gravity*). Berikut adalah hasil analisis butiran ditampilkan dalam kurva gradasi butiran yang dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Grafik Distribusi Gradasi Butiran

Dari hasil distribusi butiran di atas menunjukkan material Batu Apung, Material Piroklastik dan Pasir yang dapat ditentukan klasifikasi butiran berdasarkan gradasi dan ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Klasifikasi Menurut USCS

Sampel	Gradasi Butiran						Keterangan
	D10	D30	D60	D50	Cu	Cc	
Batu Apung	0.135	0.385	1.000	0.750	7.407	1.098	SW (Baik)
Batuan Piroklastik	0.147	0.350	0.790	0.600	5.374	1.055	SW (Sedikit Baik)
Pasir	0.125	0.258	0.425	0.380	3.400	1.253	SW (Sedikit Baik)

Berdasarkan hasil perhitungan tabel di atas material Batu Apung tergolong dalam SW (*Sand Well Graded*) menunjukkan nilai koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) <6 yang merupakan batas kategori dalam klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*). Untuk material Piroklastik nilai koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) yang memiliki jenis tanah pasir bersih bergradasi buruk. Demikian pula untuk material Pasir yang memiliki nilai koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) yang masuk dalam kategori pasir bersih bergradasi buruk.

Pengujian *specific gravity* untuk menentukan nilai berat jenis tanah yang mempunyai butiran lolos saringan nomor 4. Harga *specific gravity* merupakan perbandingan berat butir tanah dan berat air yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian *specific gravity* dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Rekapitulasi *Specific Gravity*

Material	Gs
A-1	2,829
A-2	2,946
A-3	2,877

Dari hasil rekapitulasi tabel di atas nilai *specific gravity* (Gs) material Batu Apung (A-1) memiliki nilai 2,829. Dan untuk material Piroklastik (A-2) memiliki nilai 2,946, sedangkan untuk material Pasir memiliki nilai 2,877.

Klasifikasi tanah pada penelitian ini hanya dilihat dari dua referensi yaitu klasifikasi USCS dan AASTHO berdasarkan klasifikasi USCS dapat dilihat pada tabel 1. Klasifikasi AASTHO dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Klasifikasi Menurut AASTHO

Material	Simbol	Jenis Tanah
Batu Apung (A-1)	A - 3	Pasir Halus
Batuan Piroklastik (A-2)	A - 3	Pasir Halus
Pasir (A-3)	A - 3	Pasir Halus

Berdasarkan klasifikasi di atas dapat disimpulkan bahwa material piroklastik hasil erupsi gunung berapi merupakan material yang layak digunakan sebagai material timbunan ringan, seperti material timbunan *backfill*.

Pengujian Karakteristik Mekanik

Pada pengujian mekanik dilakukan tiga pengujian yaitu pengujian pemadatan dengan *standard proctor*, pengujian karakteristik permeabilitas menggunakan *constant head*, dan pengujian ketahanan terhadap *piping* yang menggunakan alat hasil perpaduan referensi Furumoto et al (2002) dan Fujisawa et al (2013).

Pada pengujian pemadatan didapat variasi kadar air yang menghasilkan kurva pemadatan, sehingga dari kurva tersebut akan diperoleh OMC (*optimum moisture content*) dan MDD (*maximum dry density*). Hasil pengujian pemadatan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

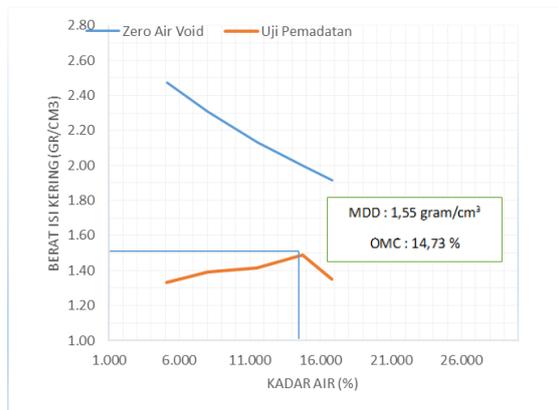
Tabel 4. Harga MDD dan OMC

Material	MDD atau $\gamma_{d \max}$ (gram/cm ³)	OMC (%)
A-1	1,55	14,73
A-2	1,95	14,61
A-3	1,95	14,70

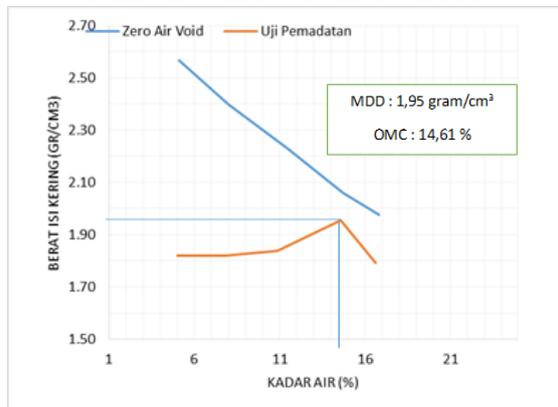
Dari hasil pengujian pemadatan di atas dapat disimpulkan bahwa material Batu Apung (A-1) memiliki nilai MDD (*maximum dry density*) yang rendah hal ini dikarenakan Batu

Apung memiliki rongga yang relatif besar sehingga sangat mudah meloloskan air. Dapat dilihat juga dari hasil *specific gravity* yang lebih kecil dibandingkan keduanya yang artinya lebih ringan. Sedangkan untuk Material Piroklastik (A-2) dan Pasir (A-3) memiliki nilai MDD (*maximum dry density*) yang sama karena memiliki rongga yang hampir sama rapat. Kemudian untuk nilai OMC (*optimum moisture content*) ketiga material memiliki nilai yang relatif sama yaitu rata – rata 15%.

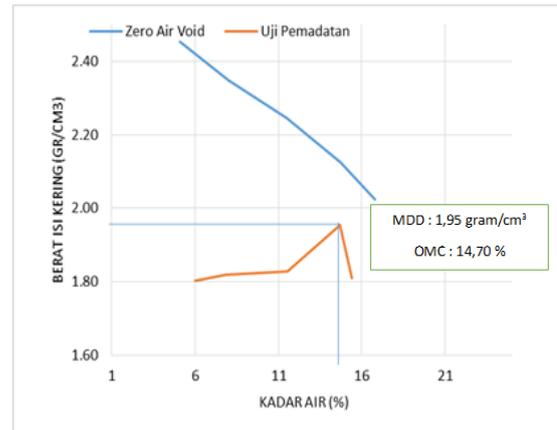
Pada pengujian karakteristik permeabilitas penelitian ini menggunakan *constant head* untuk menentukan koefisien permeabilitas atau harga (k) hal ini karena material yang digunakan adalah granular atau pasir berbutir kasar. Dari hasil pemadatan diperoleh nilai OMC (*optimum moisture content*) yang masing-masing dibulatkan menjadi 15%. Pengujian permeabilitas ini menggunakan kadar air *optimum moisture content, dry side* dan *wet side* diambil selisih 3% dari OMC sehingga kadar air masing-masing 12%, 15% dan 18%. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Kurva Pemadatan A-1



Gambar 4. Kurva Pemadatan A-2



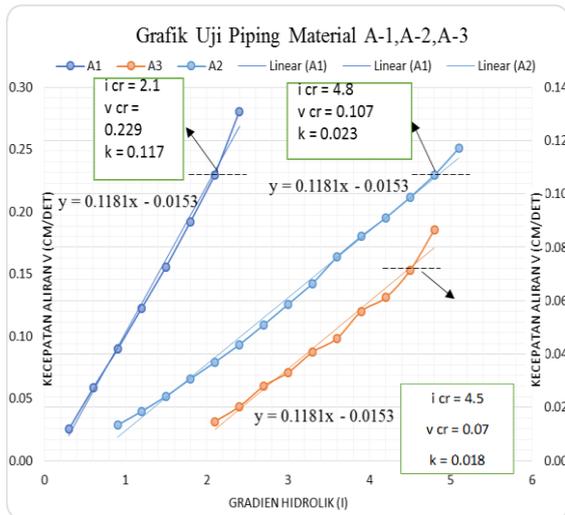
Gambar 5. Kurva Pemadatan A-3

Tabel 5. Harga Koefisien Permeabilitas

Bahan Uji	Kadar Air (w)	Koefisien Permeabilitas (k) / cm/dt
A-1	12%	0.029
	15%	0.003
	18%	0.001
A-2	12%	0.023
	15%	0.002
	18%	0.001
A-3	12%	0.024
	15%	0.003
	18%	0.001

Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas di atas menunjukkan bahwa semakin besar kadar air maka semakin kecil nilai koefisien permeabilitas (k). Sebaliknya, semakin kecil kadar air maka semakin besar nilai koefisien permeabilitas (k).

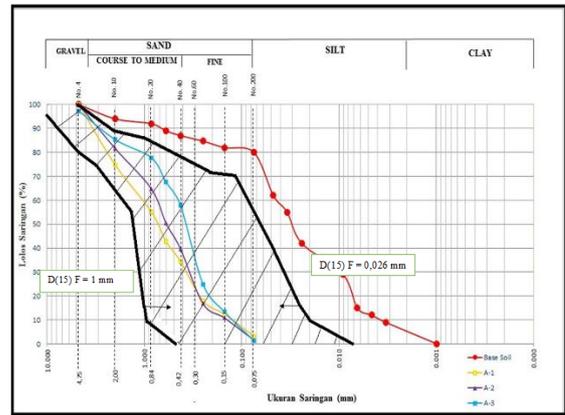
Dari hasil pemadatan *standard proctor*, maka dilakukan pengujian terhadap *piping*. Dari ketiga sampel didapatkan variasi pengaruh jenis material terhadap ketahanan *piping* (pada kondisi optimum kepadatan). Berikut hasil pengujian ketahanan terhadap *piping* yang dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



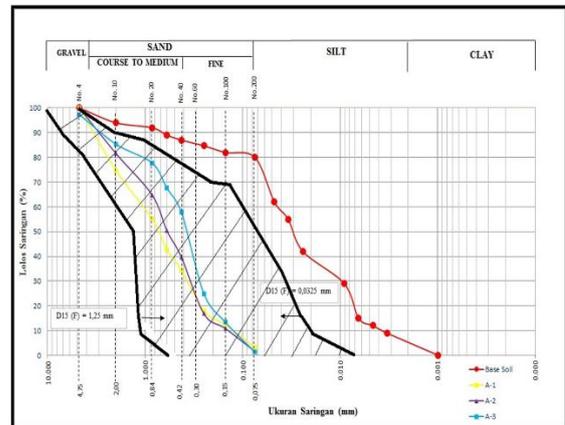
Gambar 6. Grafik Hubungan v dan i

Berdasarkan grafik di atas material A-1 lebih cepat mengalami kehancuran yang diakibatkan dari tekanan *uplift*. Hal ini dikarenakan Batu Apung memiliki rongga yang lebih besar dibandingkan kedua material lainnya yang secara mudah meloloskan air. Sedangkan material A-2 dan A-3 hampir sama mengalami kekuatan menahan bahaya *piping* namun lebih kuat material A-3 karena memang rongga pada A-3 relatif lebih besar dari A-2. Maka mekanisme kehancuran material pada penelitian ini material A-1 lebih rentan akibat *uplift*, sedangkan material A-2 dan A-3 disebabkan oleh *piping resistance*.

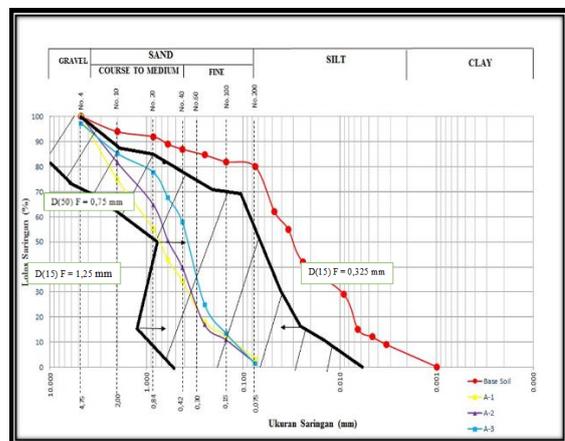
Pengaplikasian untuk penelitian ini adalah sebagai *backfill* material pada *sub soil drainage* pada pekerjaan perkerasan jalan. Dapat ditinjau pada nilai permeabilitas berada pada rentan 0,03-30,5 m/hari yaitu dalam kondisi buruk (*poor*) dan cukup baik (*fair*). Artinya material ini memenuhi syarat minimal sebagai material *sub-base*. Selain itu digunakan sebagai bahan filter dinding penahan tanah yang menggunakan kriteria kelayakan gradasi berdasarkan Terzaghi (1922), Bertram (1940) dan *US Army Corps Of Engineers* (1955), yang menggunakan *base soil* tanah Desa Jombok Kecamatan Ngantang dari Suryo (2013). Gambar 7,8,9 menunjukkan aplikasi material yang dipakai sebagai bahan filter.



Gambar 7. Desain Filter Menurut Terzaghi



Gambar 8. Desain Filter Menurut Bertram



Gambar 9. Desain Filter Menurut US Army

Dari hasil analisis aplikasi dinding penahan di atas material Batu Apung (A-1), material Piroklastik (A-2), dan material Pasir (A-3) ketiganya masuk dalam zona gradasi yang dapat diterima sebagai filter.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan Batu Apung dan Batuan Piroklastik dan Pasir, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil analisis distribusi butiran dapat diketahui bahwa Batu Apung dan Batuan Piroklastik memiliki klasifikasi butiran bergradasi baik. Batu Apung memiliki nilai $C_u = 7,407$ dan $C_c = 1,098$ dan untuk Batuan Piroklastik memiliki nilai $C_u = 5,374$ dan $C_c = 1,055$. Nilai C_u dan C_c ini memenuhi syarat kategori gradasi butiran yang baik. Sedangkan Material Pasir memiliki nilai $C_u = 3,4$ dan $C_c = 1,253$ artinya pada nilai C_u Material Pasir tidak memenuhi syarat untuk kategori baik dan nilai C_c memenuhi syarat, maka Material Pasir tergolong dalam klasifikasi sedikit baik. Nilai Specific Gravity Batu Apung = 2,829, Batuan Piroklastik = 2,946 gram/cm³ dan Pasir = 2,877 gram/cm³. Berikut klasifikasi butiran Batu Apung dan Scoria menggunakan Sistem *Unified Soil Clasification System (USCS)* dan Sistem *AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)*.
 - a. Menurut USCS Batu Apung diklasifikasikan ke dalam SW (Pasir Bersih Bergradasi Baik), Sedangkan menurut AASTHO tergolong dalam pasir halus (A-3).
 - b. Menurut USCS Batuan Piroklastik diklasifikasikan ke dalam SW (Pasir Bergradasi Sedikit Baik), Sedangkan menurut AASTHO tergolong dalam pasir halus (A-3).
 - c. Menurut USCS Material Pasir diklasifikasikan ke dalam SW (Pasir Bergradasi Sedikit Baik), Sedangkan menurut AASTHO tergolong dalam pasir halus (A-3).

Hasil uji pemadatan nilai MDD (A-1) lebih kecil yaitu 1,48 gram/cm³, A-2 dan A-3 1,95 gram/cm³. Harga (k) permeabilitas (A-1) 0,0111 cm/dt. (A-2) 0,0087 cm/dt dan (A-3) 0,0091 cm/dt.

Pada pengujian ketahanan terhadap *piping* Batu Apung memiliki harga (k) 0,117 cm/dt, Batuan Piroklastik = 0,023 cm/dt dan Material Pasir = 0,018 cm/dt.

Pengujian *piping resistance* yang menggunakan Uji Model dari Furumoto, et al (2002) dan dikombinasikan dengan Fujisawa, et al (2013) material A-1 lebih cepat mengalami kehancuran yang diakibatkan dari tekanan *uplift*. Hal ini dikarenakan Batu Apung memiliki rongga yang lebih besar dibandingkan kedua material lainnya yang secara mudah meloloskan air. Sedangkan material A-2 dan A-3 hampir sama mengalami kekuatan menahan bahaya *piping* namun lebih kuat material A-3 karena memang rongga pada A-3 relatif lebih besar dari A-2. Maka mekanisme kehancuran material pada penelitian ini material A-1 lebih rentan akibat *uplift*, sedangkan material A-2 dan A-3 disebabkan oleh *piping resistance*.

- 2) Pada aplikasi yang diterapkan untuk penelitian ini terhadap Batu Apung, Batuan Piroklastik, dan Pasir dari Sungai Kali Sambong, Ngantang Kabupaten Malang yaitu:

- a. Untuk *sub soil drainage* pada jalan Batu Apung, Batuan Piroklastik dan Material Pasir berada pada rentan 0,03 – 30 m/hari masuk pada kategori buruk (*poor*) dan cukup baik (*fair*) yang artinya material ini memenuhi syarat minimal sebagai material *sub base*. Untuk dihubungkan dengan permeabilitas material sub base material ini masuk diantara 3×10^{-2} dan 7×10^{-4} cm/det, sehingga dikategorikan dalam (*medium sand*). Dihubungkan dengan nilai material perkerasan maka material ini tergolong tanah bertipe *clean sand, clean sand and gravel mixtures*. Tergolong pada material jalan yaitu *graded filter materials* dengan *rating of pavement materials very rapid*.
- b. Untuk pekerjaan dinding penahan tanah material ini dapat dipakai sebagai filter dinding penahan dengan menggunakan perhitungan oleh Terzaghi (1922), Bertram (1944), dan US Army (1955) dengan menggunakan *base soil* tanah dengan kurva gradasi dari Desa Jombok, Ngantang Kabupaten Malang maka material ini dapat melindungi *base soil*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, Y. & Goto, S. (2008). Undrained Cyclic Shear Behavior Of Reconstituted Scoria Deposit. *Jurnal Soil and Foundations*. Vol. 48, No. 6, 851-857.
- Bertram, G. E. (1940). *An Experimental Investigation of Protective Filters*. Harvard Soil Mechanics series No 7, Graduate School of Engineering, Harvard University, Cambridge, MA
- Das, B.M. (1985). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1*. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Penerbit: Erlangga. Jakarta.
- Evans et al. (1999). Evaluation Of Pumice And Scoria Samples From East Africa As Lightweight Aggregates. Afrika: McGraw-Hill.
- Fujisawa, K., Murakami, A., Nishimura, S., Shuku, T. (2013). *Relation between seepage force and velocity of sand particles during sand boiling*. Graduate School of Agriculture, Kyoto University Kyoto, Japan.
- Furumoto, K., Miki, H., Tsuneoka N. dan Obata, T. (2002). *Model test on the piping resistance of short fibre reinforced soil and its application to river levee*. Geosynthetics - 7 ICG - Delmas, Gourc & Girard (eds). Swets & Zeitlinger, Lisse ISBN 90 5809 523 1
- Suryo, Eko, Andi. (2013). *Mendeteksi Retakan Dalam pada Tubuh Lereng Tanah Residu Menggunakan Electrical Resistivity Tomography*. Jurnal Rekayasa Sipil. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Terzaghi, K. 1922. *The Failure of Dams by Piping and its Prevention*. *Die Wasserkraft*, Vol. 17, 445-449. US Army Corps of Engineers. 1955. *Filter Experiments and Design Criteria*. Technical Memo NO. 3-360, Vicksburg, MS
- Wardhana, G. M. K., Maritimo F., Maulana, E. dan Ammarullah, A. (2014). *Pemetaan Daerah Rawan Jatuhan Material Piroklastik: Kasus Erupsi Gunungapi Kelud 2014*, Penerbit: Pustaka Pelajar, Yogyakarta.