

IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK FISIK DAN MINERALOGI MATERIAL PIROKLASTIK HASIL ERUPSI GUNUNG KELUD DI SUNGAI KALI SAMBONG DESA PANDANSARI KECAMATAN NGANTANG KABUPATEN MALANG SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL TIMBUNAN

Fatan Aristantha¹, Andre Primantyo Hendrawan², Runi Asmaranto³

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Teknik Pengairan Universitas Brawijaya-Malang, Jawa Timur, Indonesia
Jalan MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia
e-mail: aristantha@gmail.com

ABSTRAK: Desa Pandansari Kabupaten Malang yang berada dekat dengan Gunung Kelud merupakan salah satu lokasi dengan dampak paling parah akibat erupsi Gunung Kelud pada tahun 2014. Paska erupsi tersebut terdapat deposit melimpah material piroklastik di sepanjang Kali Sambong dekat Desa Pandansari. Sasaran utama pada studi ini adalah untuk menginvestigasi karakteristik fisik dan mineralogi material piroklastik dari Gunung Kelud sebagai material urugan kembali. Dua lokasi pengambilan sampel dipilih: pertama, batu apung dan batuan piroklastik diambil disekitar Jembatan Kali Sambong, lokasi kedua yang terletak sekitar 3-4 km pada bagian hulu Jembatan Kali Sambong diambil 4 sampel material butiran yang lebih halus. Hasil studi ini berdasarkan pengujian analisa saringan terlihat bahwa pecahan batu apung, pecahan batuan piroklastik dan pasir dapat diklasifikasikan sebagai Pasir Halus (A-3) berdasarkan klasifikasi AASHTO. Berdasarkan klasifikasi USCS, sebagian besar sampel piroklastik dapat diklasifikasikan sebagai SW (*well graded*); hanya 2 sampel pasir dari hulu Jembatan yang diklasifikasikan sebagai SP (*poorly graded*). Berdasarkan pengujian *specific gravity* (Gs) pada seluruh sampel diketahui bahwa nilai Gs bervariasi antara 2.522 sampai 2.946 yang berarti sejenis dengan pasir pada umumnya. Berdasarkan pengujian kerapatan dan angka pori pada seluruh sampel diketahui bahwa nilainya juga mirip dengan pasir pada umumnya. Berdasarkan analisa SEM-EDX, terlihat bahwa pada batu apung dan batuan piroklastik memiliki pori-pori yang saling berhubungan, memiliki tekstur yang vesikuler serta kandungan unsur dominan berupa silika (Si). Berdasarkan analisa X-RF, terlihat dari seluruh sampel bahwa silika (Si) merupakan unsur paling dominan dengan prosentase yang berbeda pada setiap sampel. Berdasarkan analisa X-RD, dapat disimpulkan bahwa komposisi senyawa paling dominan adalah Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Berdasarkan analisa AAS, diketahui bahwa senyawa paling dominan adalah SiO_2 . Dengan klasifikasi batuan standar berdasarkan kandungan silika (SiO_2), material piroklastik dari Gunung Kelud diklasifikasikan sebagai asam dengan kandungan silika (SiO_2) lebih dari 66%.

Kata Kunci: Material Piroklastik, karakteristik fisik, identifikasi mineralogi, alternatif material timbunan.

ABSTRACT: Pandansari village at Malang Regency was located near Mount Kelud and one of the areas that has been damaged seriously by Mount Kelud eruption in 2014. After the eruption a large of pyroclastic materials has been deposited along Kali Sambong River near from this village. The main objective of this study is to investigate the physical and mineralogy characteristics of pyroclastic materials from Mount Kelud as backfill materials. Two locations of collecting samples were chosen: first, the pumice and other pyroclastic rocks were taken around Kali Sambong Bridge and the second location was located about 3-4 km at upstream of Kali Sambong Bridge to collect 4 samples of finer granular materials. As a result of this study, based on sieve test analysis it is showed that crushed pumice, crushed pyroclastic rock and sand can be classified as sand with the fine grain (A-3) by using AASHTO classification. By using USCS classification, most of pyroclastic samples can be classified as SW (*well graded*); only samples of sand from upstream are classified as SP (*poorly graded sand*). From specific gravity (Gs) testing of all samples it is found that the values of Gs are varied in a range of 2.522 to 2.946 which are similar with natural common sand. From density and void ratio from all samples it is observed that their value were also similar with natural common sand. From SEM-EDX analysis, it is seen that pumice and pyroclastic rock have inter-connected vesicular with the dominant element is silica (Si). From X-RF analysis, it is seen from both samples that silica (Si) is the dominant element with different percentage. From X-RD analysis, it can be concluded that the dominant compound is Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8$). From AAS analysis, it is observed that the dominant compound is SiO_2 , using a simple rock classification based on silica (SiO_2) content, the pyroclastic materials from Mount Kelud can be classified as acidic which has more than 66% of silica content.

Keywords: Pyroclastic materials, physical characteristics, mineralogy identification, alternative backfill material.

PENDAHULUAN

Gunung Kelud terakhir kali mengalami erupsi dahsyat pada 13 Februari 2014 dengan melontarkan material piroklastik hingga ketinggian 17 km. Bagi Kabupaten Malang, Desa Pandansari merupakan lokasi yang terkena dampak erupsi paling parah. Dari 300 rumah yang terdapat di Desa Pandansari, hanya 6 rumah saja yang tidak rusak berat (kompas.com). Setelah 4 tahun berlalu pasca erupsi Gunung Kelud, kini disekitar Kali Sambong terdapat deposit material piroklastik yang sangat melimpah. Kali Sambong sendiri merupakan salah satu sungai yang dilewati banjir lahar dingin beberapa hari setelah erupsi Gunung Kelud.



Gambar 1 Material Piroklastik di Sungai Kali Sambong

Sumber: Dokumentasi, 2017

Dengan melimpahnya material piroklastik pada lokasi Sungai Kali Sambong, mendorong penelitian seputar material piroklastik yang berfokus pada identifikasi karakteristik fisik dan mineralogi material piroklastik menjadi layak untuk dilakukan, dengan tujuan untuk mengetahui potensi material piroklastik sebagai alternatif material timbunan.

METODE PENELITIAN

Dalam studi ini material piroklastik diambil pada 2 titik di sepanjang Sungai Kali Sambong Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang. Lokasi titik pertama berada disekitar jembatan Kali Sambong dengan sampel material Batu Apung, Batuan Piroklastik dan Pasir. Sedangkan

titik kedua berada pada bagian *upstream* jembatan Kali Sambong dengan 4 buah sampel pasir yang nantinya akan dijadikan pembanding bagi sampel Batu Apung dan Batuan Piroklastik yang di *crushing* sehingga menyerupai granular pasir. Khusus untuk Batuan Piroklastik merupakan kumpulan dari beberapa jenis batuan yang ringan (*light-weight materials*) sejalan dengan studi ini yang mencari material sebagai alternatif material timbunan.

Untuk mengetahui karakteristik fisik digunakan pengujian analisa butiran (*grain size*), pengujian *specific gravity* (Gs), pengujian kerapatan (*density*) dan angka pori (*void ratio*) yang menggunakan standar ASTM, serta pembacaan grafik *sphericity and roundness* untuk mengetahui bentuk partikel (*particle shape*).

Sedangkan untuk mengidentifikasi mineralogi dilakukan pengujian menggunakan *SEM-EDX* untuk mengetahui bentuk butiran serta melihat mikro pori butiran, *X-RF* untuk mengetahui kandungan unsur, *X-RD* untuk mengetahui komposisi senyawa, *AAS* untuk mengetahui kandungan senyawa.

MATERIAL DASAR

Material dasar yang digunakan dalam studi ini adalah Batu Apung, Batuan Piroklastik dan Pasir. Untuk mempermudah dalam penguraian, diberikan penamaan pada sampel material.

Tabel 1 Penamaan Sampel Material Piroklastik

Nama	Definisi	Lokasi Pengambilan Sampel
Batu Apung	A-1	Jembatan Kali
Batuan Piroklastik	A-2	Sambong
Pasir	A-3	
Pasir	B-1	<i>Upstream</i> Jembatan
Pasir	B-2	Kali Sambong
Pasir	B-3	
Pasir	B-4	



(a)

Gambar 2 (a) Hasil *Crushing* Batu Apung

(b)

Gambar 2 (b) Hasil *Crushing* Batuan Piroklastik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan identifikasi material piroklastik di Sungai Kali Sambong, diketahui bahwa deposit berupa Batu Apung dan Batuan Piroklastik terdapat sangat melimpah dengan ukuran yang relatif besar. Hal ini sama dengan pernyataan Wardhana et al (2014) yang menyebutkan bahwa erupsi Gunung Kelud pada tahun 2014 melontarkan material dominan berupa abu, pasir dan Batu Apung (*pumice*) dengan ukuran cukup besar sekitar 10 cm. Kini melimpahnya material piroklastik di Sungai Kali Sambong sudah mulai dimanfaatkan oleh warga sekitar untuk menjadikan lokasi Kali Sambong menjadi lokasi penambangan pasir.

Gambar 3 Kumpulan Batu Apung (A-1)
Sumber: Dokumentasi, 2017

- Hasil Pengujian Karakteristik Fisik

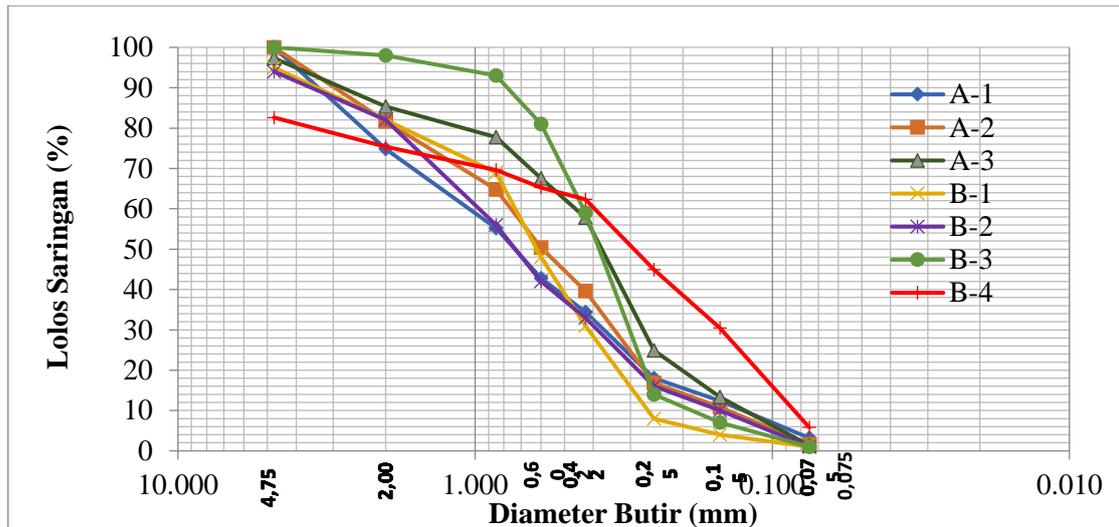
1. Hasil Pengujian Gradasi Butiran.

Pengujian gradasi butiran bertujuan untuk mengetahui ukuran butiran yang nantinya dapat digunakan untuk mengklasifikasikan sampel berdasarkan klasifikasi *AASHTO*, *USCS*, *JGS*. Pasir bergradasi baik apabila memiliki nilai $C_U > 6$ dan C_C 1-3.

Tabel 2 Rekapitulasi Gradasi Butiran

Sampel	Titik A						Keterangan
	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	D ₅₀	C _U	C _C	
Batu Apung (A-1)	0.135	0.385	1.000	0.750	7.407	1.098	SW (Baik)
Batuan Piroklastik (A-2)	0.147	0.350	0.790	0.600	5.374	1.055	SW (Sedikit Baik)
Pasir (A-3)	0.125	0.258	0.425	0.380	3.400	1.253	SW (Sedikit Baik)
Sampel	Titik B						Keterangan
	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	D ₅₀	C _U	C _C	
Pasir (B-1)	0.257	0.410	0.750	0.600	2.918	0.872	SP (Buruk)
Pasir (B-2)	0.150	0.400	1.100	0.790	7.333	0.970	SW (Sedikit Baik)
Pasir (B-3)	0.180	0.300	0.410	0.390	2.278	1.220	SW (Sedikit Baik)
Pasir (B-4)	0.085	0.1500	0.420	0.300	4.940	0.630	SP (Buruk)

Sumber: Hasil Perhitungan dan Klasifikasi *USCS*



Gambar 4 Kurva Distribusi Ukuran Butiran Material Piroklastik Sungai Kali Sambong
Sumber: Hasil Penelitian, 2017

2. Hasil Pengujian *Specific Gravity* (Gs).

Pengujian *specific gravity* dilakukan untuk menentukan berat jenis sampel yang memiliki butiran lolos saringan no. 4 dengan menggunakan *picnometer*. Nilai *specific gravity* menunjukkan perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur tertentu.

Tabel 3 Rekapitulasi Nilai *Specific Gravity* (Gs) Material Piroklastik

Nama Sampel	Nilai Gs
Batu Apung (A-1)	2.829
Batuan Piroklastik (A-2)	2.946
Pasir (A-3)	2.768
Pasir (B-1)	2.732
Pasir (B-2)	2.552
Pasir (B-3)	2.724
Pasir (B-4)	2.807

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

3. Hasil Pengujian Kerapatan (*density*) dan Angka Pori (*void ratio*).

Pada tanah berbutir yang akan digunakan sebagai material timbunan, nilai derajat pemadatan dilapangan dapat diukur dengan mensimulasikan material dalam 3 kondisi yaitu tusuk, ketuk dan renggang. Untuk mendapatkan nilai γ_d max dan nilai e min didapat dari kondisi tusuk dan ketuk. Sedangkan untuk

mendapatkan nilai γ_d min dan nilai e maks didapat dari kondisi renggang.

Tabel 4 Rekapitulasi Nilai Kerapatan dan Angka Pori Material Piroklastik

Parameter	γ_d min	γ_d maks	e min	e maks
A-1	0.992	1.060	1.652	1.851
A-2	1.074	1.109	1.607	1.743
A-3	1.396	1.485	0.652	0.771
B-1	1.437	1.634	0.865	0.901
B-2	1.345	1.450	1.251	1.408
B-3	1.395	1.446	0.901	0.952
B-4	0.939	1.277	1.417	1.989

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

4. Pembacaan Grafik *Sphericity and Roundness*.

Pengetahuan tentang bentuk partikel dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan antar individu butiran dengan membaca grafik standar yang telah diusulkan oleh Krumbein (1941). Nilai *sphericity* dapat menggambarkan kekuatan pada suatu partikel, sedangkan nilai *roundness* dapat menggambarkan bagaimana bentuk suatu partikel, dan pengaruhnya terhadap bagaimana partikel tersebut bergerak. Material yang cenderung bersudut akan mempunyai daya ikat antar partikel yang baik, sehingga baik digunakan untuk material timbunan.

Tabel 5 Rata-rata Nilai *Sphericity and Roundness* Material Piroklastik

Material	<i>Sphericity</i>	<i>Roundness</i>	Keterangan
Batu Apung (A-1)	0.62	0.38	<i>High Sphericity, Angular</i>
Batuan Piroklastik (A-2)	0.72	0.37	<i>High Sphericity, Angular</i>
Pasir (A-3)	0.76	0.51	<i>High Sphericity, Sub - Angular</i>
Pasir (B-1)	0.75	0.53	<i>High Sphericity, Sub - Angular</i>
Pasir (B-2)	0.74	0.46	<i>High Sphericity, Sub - Angular</i>
Pasir (B-3)	0.78	0.48	<i>High Sphericity, Sub - Angular</i>
Pasir (B-4)	0.73	0.42	<i>High Sphericity, Angular</i>

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

5. Klasifikasi Tanah

Setelah serangkaian pengujian karakteristik fisik, sampel material piroklastik dapat diklasifikasikan. Dari beberapa sistem klasifikasi tanah yang ada, pada penelitian ini klasifikasi tanah yang digunakan adalah sistem *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), *USCS* (*Unified Soil Classification System*) dan *JGS* (*The Japanese Geotechnical Society*).

Tabel 6 Klasifikasi Material Piroklastik Menurut *AASHTO*

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
Pasir (B-1)	A - 3	Pasir Halus
Pasir (B-2)	A - 3	Pasir Halus
Pasir (B-3)	A - 3	Pasir Halus
Pasir (B-4)	A - 3	Pasir Halus

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

Tabel 7 Klasifikasi Material Piroklastik Menurut *USCS*

Material	Simbol	Jenis Tanah
Batu Apung (A-1)	SW	Pasir Bersih Bergradasi Baik
Batuan Piroklastik (A-2)	SW	Pasir Bersih Bergradasi Baik
Pasir (A-3)	SW	Pasir Bersih Bergradasi Baik
Pasir (B-1)	SP	Pasir Bersih Bergradasi Buruk
Pasir (B-2)	SW	Pasir Bersih Bergradasi Baik
Pasir (B-3)	SW	Pasir Bersih Bergradasi Baik
Pasir (B-4)	SP	Pasir Bersih Bergradasi Buruk

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

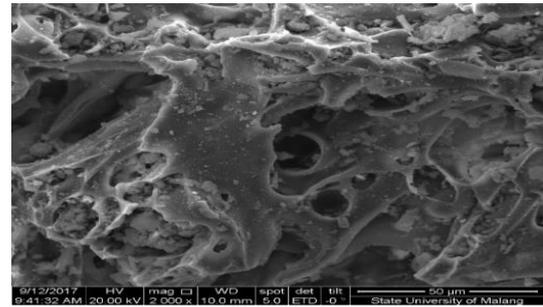
Khusus untuk klasifikasi menurut *JGS* (*The Japanese Geotechnical Society*) hanya material Pasir B-4 saja yang dapat diklasifikasikan karena sistem klasifikasi ini hanya dapat mengklasifikasikan material dengan butiran sangat halus. Menurut klasifikasi *JGS* material B-4 diklasifikasikan sebagai *SV* (*soil volcanic*) karena material B-4 lebih dari 5% lolos ayakan no. 200 dengan ayakan standar ASTM.

- Hasil Pengujian Karakteristik Mineralogi

1. Hasil Pengujian *SEM-EDX*.

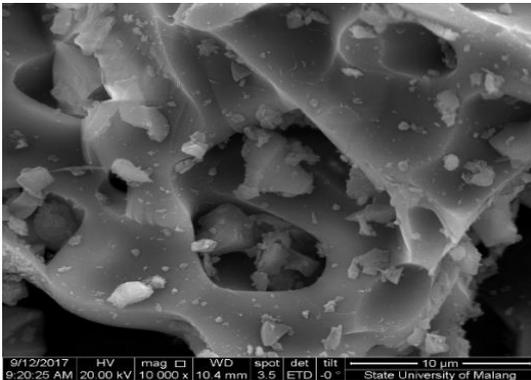
Berdasarkan hasil analisa *SEM* terlihat bahwa pada material A-1 dan A-2 bentuk partikelnya hampir sama, keduanya memiliki ukuran pori yang cukup besar dengan persebaran pori yang tidak merata serta mempunyai tekstur pori yang vesikuler. Satoshi Matsumura (2014) menjelaskan tekstur pori yang vesikuler menandakan bahwa material tersebut mempunyai porositas yang tinggi, sehingga baik digunakan sebagai material timbunan.

teksturnya tidak vesikuler seperti pada material A-1 dan A-2.



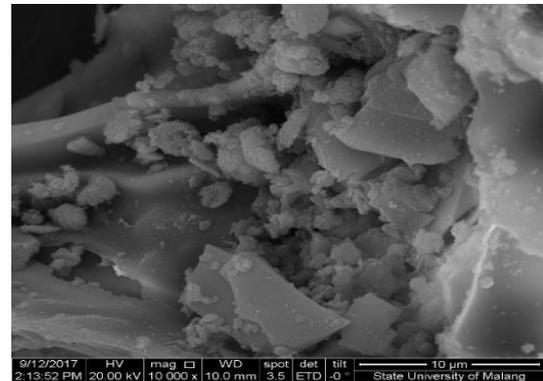
Gambar 7 Hasil Pengujian *SEM* A-3 (2000x)

Sumber: Hasil Penelitian, 2017



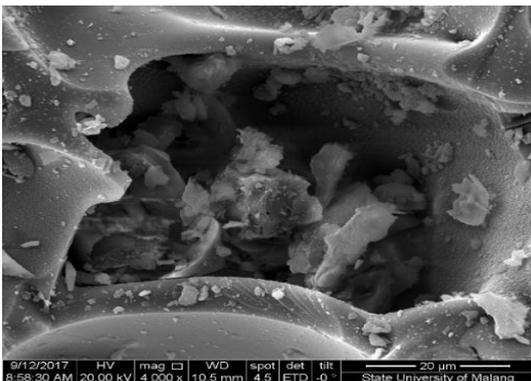
Gambar 5 Hasil Pengujian *SEM* A-1 (10000x)

Sumber: Hasil Penelitian, 2017



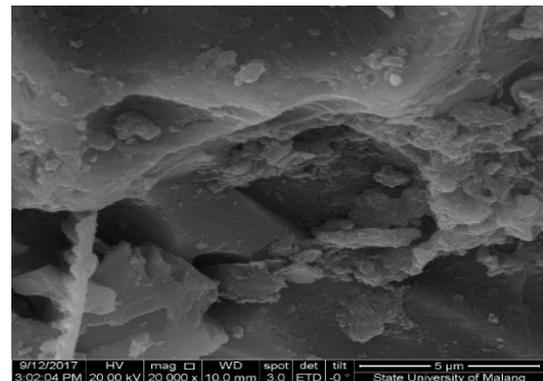
Gambar 8 Hasil Pengujian *SEM* B-1 (10000x)

Sumber: Hasil Penelitian, 2017



Gambar 6 Hasil Pengujian *SEM* A-2 (4000x)

Sumber: Hasil Penelitian, 2017



Gambar 9 Hasil Pengujian *SEM* B-4 (20000x)

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

Bila membandingkan hasil pengujian *SEM* material A-1, A-2 dengan pasir murni A-3 terlihat perbedaan yang cukup jelas. Pada material A-3 terlihat persebaran pori yang tersebar merata dengan ukuran pori yang relatif kecil dan

Bila dibandingkan dengan material pasir yang diambil pada titik kedua, kelima sampel menunjukkan hasil yang hampir sama. Kelima sampel menunjukkan pori-pori yang tersebar merata dengan

ukuran pori yang kecil dan teksturnya yang tidak vesikuler.

Bila diamati dengan perbesaran lebih besar, terlihat perbedaan antara pasir disekitar jembatan Kali Sambong dengan pasir dibagian *upstream* jembatan Kali Sambong. Pada Gambar 8 dan Gambar 9 nampak pori-pori terdapat banyak gelembung udara, tidak seperti Pasir A-3 pada Gambar 7.

Selanjutnya, berdasarkan hasil analisa EDX (*Energy Dispersive X Ray*), seluruh sampel mempunyai kandungan unsur dominan yang sama yaitu silica (Si).

2. Hasil Pengujian X-RF.

Berdasarkan hasil pengujian X-RF (*X-Ray Fluorescence*) didapatkan prosentase kandungan unsur dalam sampel material piroklastik.

09-Aug-2017 15:14:27 **Sample results** Page 1

Sample ident													
E 421													
Application <Standardless>													
Sequence 1 of 1													
Measurement time 09-Aug-2017 14:48:20													
Position 5													

Compound	Al	Si	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr	Ba	Bu
Conc	10	37.2	2.46	18.0	1.59	0.087	0.069	0.68	27.4	0.13	0.01	0.93	0.37	0.3
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Re
Conc	0.3
Unit	%

Gambar 10 Prosentase Kandungan Unsur A-1

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

Sebagai contoh seperti gambar diatas, pada sampel material A-1 memiliki kandungan unsur yang dominan berupa silica (Si) 37.2%, besi (Fe) 27.4%, kalsium (Ca) 18% dan alumunium (Al) 10%.

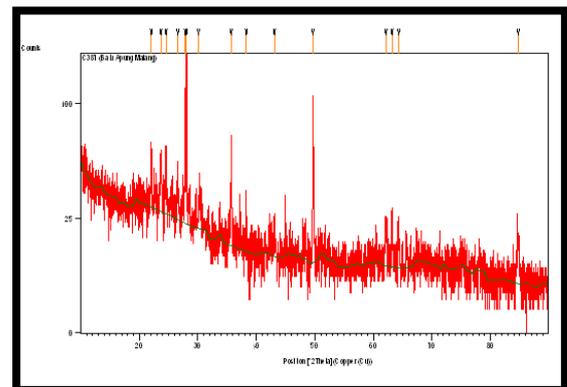
Berdasarkan hasil pengujian X-RF (*X-Ray Fluorescence*), seluruh sampel material piroklastik mempunyai kandungan unsur yang sama seperti pada contoh gambar diatas. Hanya saja setiap sampel material kandungan prosentase unsurnya berbeda-beda. Kandungan unsur yang dominan ialah unsur silica (Si) dengan prosentase A-1 37.2%, A-2 36%,

A-3 35.5%, B-1 34%, B-2 34.8%, B-3 35.6% dan B-4 36.2%.

3. Hasil Pengujian X-RD.

Berdasarkan pengujian X-RD (*X-Ray Diffraction*) dapat diketahui kandungan komposisi senyawa yang terkandung dalam sampel material piroklastik. Secara umum kandungan komposisi senyawa pada seluruh sampel material piroklastik di Sungai Kali Sambong kandungannya hampir sama. Seluruh sampel memiliki kandungan komposisi senyawa dominan berupa Anorthite ($\text{Ca (Al,Fe)}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$), yang membedakan adalah prosentase dari komposisi senyawa tersebut. Pada material A-1 terkandung komposisi Anorthite sebesar 92%, A-2 sebesar 67%, A-3 sebesar 88%, B-1 sebesar 57%, B-2 sebesar 84%, B-3 sebesar 61.4% dan B-4 sebesar 95%.

Bila melihat penelitian seputar material piroklastik berupa Batu Apung di Kali Putih Kabupaten Blitar yang dilakukan Raya (2017) diketahui bahwa kandungan komposisi senyawa dominan yang terkandung dalam Batu Apung di Kali Putih sama dengan kandungan komposisi senyawa yang terkandung dalam material Batu Apung (A-1) di Kali Sambong. Sebagai contoh berikut merupakan hasil grafik pengujian dan analisa komposisi senyawa dengan menggunakan X-RD.



Gambar 11 Grafik Hasil Pengujian X-RD A-1

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

Tabel 8 Hasil Analisa Komposisi Senyawa A-1

Kode Ref	Nama Senyawa	Prosentase (%)	Rumus Kimia
00-041-1486	Anorthite, ordered	92	Ca (Al,Fe) ₂ Si ₂ O ₈
01-085-0462	Silicon Oxide	7	Si O ₂
01-073-0603	Hematite, synthetic	1	Fe ₂ O ₃

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

4. Hasil Pengujian AAS.

Dalam pengujian AAS dapat diketahui kandungan unsur dalam sampel material. Berdasarkan hasil pengujian AAS pada material A-1 dan A-2 diketahui bahwa kandungan unsur yang dominan pada kedua sample tersebut adalah unsur SiO₂.

Tabel 9 Hasil Pengujian AAS A-1 dan A-2 Hasil Analisa (%)

Parameter	A-1	A-2
Fe ₂ O ₃	0,325	0,308
Fe ₂ O	0,260	0,246
Na ₂ O	0,593	0,464
K ₂ O	0,135	0,042
MgO	0,386	0,277
CaO	0,055	0,039
SiO ₂	81,269	76,249
Al ₂ O ₃	13,692	16,890
MnO	0,027	0,017

Sumber: Hasil Penelitian, 2017

Apabila suatu material memiliki kandungan unsur dominan berupa SiO₂, maka material tersebut bersifat pozolanik dan mudah tersementasi.

Menurut Hendrawan et al (2017) kandungan SiO₂ dapat menunjukkan sifat material tersebut asam atau basa. Apabila material memiliki kandungan SiO₂>66% maka material tersebut bersifat asam (*acid*). Berdasarkan hasil pengujian AAS diketahui bahwa material A-1 dan A-2 memiliki kandungan unsur SiO₂ sebesar

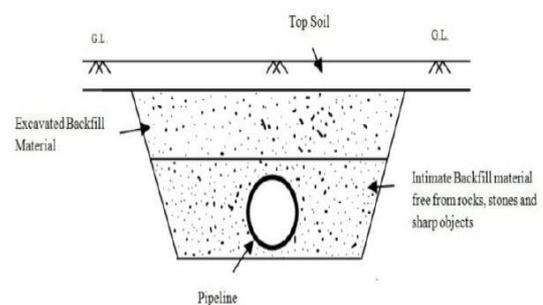
81.269% dan 76.249%, berarti kedua sampel tersebut bersifat asam. Satoshi Matsumura (2014) berpendapat bahwa material dengan sifat asam memiliki daya dukung yang kuat sehingga cocok digunakan untuk material timbunan.

• Rencana Aplikasi

Rencana aplikasi pada material piroklastik ini akan digunakan sebagai alternatif material timbunan. Timbunan yang dimaksud bukan timbunan skala besar melainkan skala kecil berupa *backfill*.

1. Backfill Pada Embedded Pipe

Material A-1 dan A-2 dapat digunakan untuk material timbunan *backfill* pada *embedded pipe*. Tanah yang baik untuk timbunan adalah tanah pasir berkerikil yang sifatnya mudah menyerap air dengan maksimum butir halus 5%, material A-1 dan A-2 memenuhi syarat tersebut berdasarkan hasil SEM. Terlihat tekstur pori yang vesikuler menunjukkan material memiliki porositas yang tinggi serta berdasarkan pengujian gradasi butiran diketahui material A-1 dan A-2 memiliki butiran lolos ayakan no. 200<5%. Menurut Moser (1990) material A-1 dan A-2 termasuk kelas II dapat digunakan sebagai material *backfill embedded pipe*.

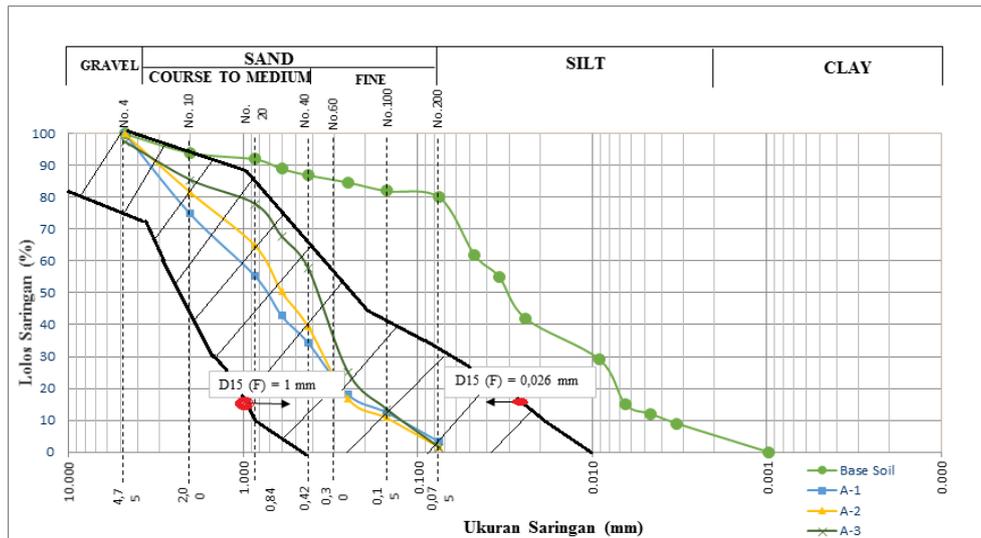


Gambar 12 Embedded Pipe

Sumber: *researchgate.net*, 2014

2. Bahan Filter

Material A-1, A-2 dan A-3 digunakan sebagai bahan *filter* untuk melindungi *base soil* yang diambil dari sampel tanah Desa Jombok Kecamatan Ngantang (Suryo,2013) dan tanah FMIPA UB (Qomari,2017).



Gambar 13 Kriteria Desain *Filter* Menurut Terzaghi (1922)
 Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dalam menentukan *zone filter* seperti gambar diatas, ada beberapa aspek yang harus dipenuhi.

- a. Harus dapat mencegah perpindahan material tanah yang dilindungi (*base soil*)

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(B)}} \leq 4$$

$$D_{15F} \leq 4 \times D_{85B}$$

$$D_{15F} \leq 4 \times 0,25 \text{ mm}$$

$$D_{15F} \leq 1 \text{ mm}$$

Nilai D_{85B} didapat dari kurva gradasi butiran material *base soil* sebesar 0,25 mm.

- b. Harus mempunyai permeabilitas yang cukup, sehingga kelebihan tekanan pada pori-pori tidak terjadi di dalam bangunan

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(B)}} \geq 4$$

$$D_{15F} \leq 4 \times D_{15B}$$

$$D_{15F} \leq 4 \times 0,0065 \text{ mm}$$

$$D_{15F} \leq 0,026 \text{ mm}$$

Nilai D_{15B} didapat dari kurva gradasi butiran material *base soil* sebesar 0,0065 mm.

Selain kriteria bahan *filter* menurut Terzaghi (1922), terdapat beberapa kriteria untuk menentukan kelayakan gradasi sebagai bahan *filter*, seperti

Bertram (1940) dan *US Army Corps of Engineers* (1955).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan identifikasi karakteristik fisik dan mineralogi pada material piroklastik di Sungai Kali Sambong, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Material Batu Apung (A-1) merupakan pasir halus dan memiliki gradasi butiran yang baik (*well graded*), memiliki nilai G_s 2.829, e min 1.652, e maks 1.851, pori-porinya besar, tersebar tidak merata, bertekstur vesikuler. Memiliki kandungan unsur dominan Si 37.2%, komposisi senyawa dominan berupa Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8$) 92%, bersifat asam dengan kandungan SiO_2 81.269%.
2. Material Batuan Piroklastik (A-2) merupakan pasir halus dan memiliki gradasi butiran yang baik (*well graded*), memiliki nilai G_s 2.946, e min 1.607, e maks 1.743, pori-porinya besar, tersebar tidak merata, bertekstur vesikuler. Memiliki kandungan unsur dominan Si 36%, komposisi senyawa dominan berupa Anorthite ($\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_8$) 67%, bersifat asam dengan kandungan SiO_2 74.249%.
3. Material Pasir (A-3) merupakan pasir halus dan memiliki gradasi butiran yang baik (*well graded*), memiliki nilai G_s 2.768, e min 0.652, e maks 0.771,

4. pori-porinya kecil, tersebar merata, tekstur tidak vesikuler. Memiliki kandungan unsur dominan Si 35.5%, komposisi senyawa dominan berupa Anorthite (Ca (Al,Fe)₂ Si₂ O₈) 88%.
5. Material Pasir (B-1) merupakan pasir halus dan memiliki gradasi butiran yang buruk (*poorly graded*), memiliki nilai Gs 2.732, e min 0.865, e maks 0.901, pori-porinya kecil, tersebar merata, tekstur tidak vesikuler. Memiliki kandungan unsur dominan Si 34%, komposisi senyawa dominan berupa Anorthite (Ca (Al,Fe)₂ Si₂ O₈) 57%.
6. Material Pasir (B-2) merupakan pasir halus dan memiliki gradasi butiran yang baik (*well graded*), memiliki nilai Gs 2.522, e min 1.250, e maks 1.408, pori-porinya kecil, tersebar merata, tekstur tidak vesikuler. Memiliki kandungan unsur dominan Si 34.8%, komposisi senyawa dominan berupa Anorthite (Ca (Al,Fe)₂ Si₂ O₈) 61.4%.
7. Material Pasir (B-3) merupakan pasir halus dan memiliki gradasi butiran yang baik (*well graded*), memiliki nilai Gs 2.724, e min 0.901, e maks 0.952, pori-porinya kecil, tersebar merata, tekstur tidak vesikuler. Memiliki kandungan unsur dominan Si 35.6%, komposisi senyawa dominan berupa Anorthite (Ca (Al,Fe)₂ Si₂ O₈) 84%.
8. Material Pasir (B-4) merupakan pasir halus dan memiliki gradasi butiran yang buruk (*poorly graded*), memiliki nilai Gs 2.807, e min 1.417, e maks 1.989, pori-porinya kecil, tersebar merata, tekstur tidak vesikuler. Memiliki kandungan unsur dominan Si 36.2%, komposisi senyawa dominan berupa Anorthite (Ca (Al,Fe)₂ Si₂ O₈) 95%.
9. Material A-1 dan A-2 dapat digunakan untuk material timbunan *backfill* pada *embedded pipe* berdasarkan Cahyo (2016) dan Moser (1990).
10. Material A-1, A-2, A-3 mampu memenuhi kriteria desain *filter* yang

diusulkan Terzaghi (1922), Bertram, (1940), *US Army Corps of Engineers* (1955) dengan menggunakan *base soil* dari Suryo (2013) dan Qomari (2017).

Dalam penelitian ini masih terdapat kekurangan, besar harapan agar penelitian ini dapat dikembangkan, berikut beberapa saran yang dapat diberikan:

1. Ketersediaan pisau *crusher* dan penyaring berpengaruh terhadap ukuran butiran, sehingga ke depannya bisa disesuaikan peruntukan material ketika dilakukan proses *crushing*.
2. Pendalaman dalam penelitian seputar *sphericity and roundness* material perlu dikembangkan, sehingga pengetahuan tentang pergerakan sedimen dapat diketahui.
3. Pengembangan penelitian seputar material piroklastik berdasarkan karakteristik mekanik dapat dilakukan untuk menunjang pengaplikasian material piroklastik sebagai bahan *filter*.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmaranto, Runi et al. 2014. *Analisa Keruntuhan Bendungan Gondang Dengan Menggunakan Program Zhong Xing HY21*. Vol 5. No. 1
- 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, Braja. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta, Erlangga.
- Hendrawan et al. 2017. *Physical and Mineralogical Properties of Crushed Pumice and Scoria from the 2014 Eruption of Mount Kelud*. Indonesia Kompas.com.2014,(<http://nasional.kompas.com/read/2014/02/15/1444080/300.Rumah.Rusak.Parah.Akibat.Erupsi.Kelud>) (Dkses tanggal 23 April 2017)
- Krumbein, W. C. 1941, *Flood Gravels of San Gabriel Canyon, California:*

- Geological Society of America Bulletin*, 51:639-676.
- Matsumura, Satoshi. 2014. *Laboratory and in-situ studies on mechanical*
- Moser, A. P. 1990. *Burried Pipe Design*. London: McGraw-Hill.
- Qomari, Basri. 2017. *Analisis Karakteristik Genangan Terhadap Kejadian Hujan dan Sifat Fisik Tanah di Universitas Brawijaya*. Universitas Brawijaya
- Raya, Usy. Andry. 2017. *Studi Karakteristik Fisik dan Mineralogi Batu Apung dan Scoria dari Gunung Kelud Blitar Untuk Mengevaluasi Potensinya Sebagai Bahan Geoteknik*. Universitas Brawijaya
- Researchgate.net. 2014. (<https://www.researchgate.net/search?q=embedded%20pipe>) (Diakses November 2017)
- Terzaghi, K. 1922. *The Failure of Dams by Piping and its Pervation*. Die Wasserkraft, Vol. 17, 445-449.
- US Army Corps of Engineers. 1955. *Filter Experiments and Design Criteria*. Technical Memo N0. 3-360, Vicksburg, MS
- Wardhana, et. al. 2014. *Pemetaan Daerah Rawan Jatuhan Material Piroklastik: Kasus Erupsi Gunungapi Kelud 2014. Bagian I*.