

PEMANFAATAN ABU VULKANIK PADA *PAVING BLOCK* SEBAGAI PENGEMBANGAN
BAHAN AJAR MATA KULIAH ILMU BAHAN BANGUNAN.

Vivit Rulita Sari¹, Sri Sumarni² dan Ernawati Sri³
Pendidikan Teknik Bangunan Sebelas Maret University

Phone: 085649503598; Email: vivitrulitw@gmail.com

ABSTRACT

Volcanic ash is a natural substance produced from eruption. It is used as material for paving block functioning as a partial replacement of fine aggregate. The results are applied to develop the teaching materials on building materials science subject.

The purpose of this study is to determine the effect of volcanic ash on the compressive strength and permeability of paving blocks. This study applied an experimental method in laboratory by testing the samples. The samples used in this research are paving blocks with size of 6,5 x 10 x 20 cm with a total sample of 45 pieces. The variations are from 0%, 5%, 10%, 20% and 25% ash replacing fine aggregate. Each group sample contains 9 pieces. The calibration is applying the compressive strength and permeability testing.

The replacement of volcanic ash as a partial replacement of fine aggregate in the manufacture of paving blocks indicates a positive impact. Optimal values achieved for compressive strength is 30,8 MPa of 10,4% variation replacement, whereas, the optimum permeability best value achieved is at variation of 16,6875% in the permeability of 8,416%.

Keywords: paving block, volcanic ash, compressive strength and permeability

¹ Vocational Technical Education, Sebelas Maret University

^{2, 3} Lecturer Vocational Technical Education, Sebelas Maret University

ABSTRAK

Abu vulkanik merupakan bahan alam yang dihasilkan dari letusan gunung. Abu ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuat *paving block* yang berperan sebagai pengganti sebagian agregat halus. Hasil penelitian ini digunakan untuk mengembangkan bahan ajar pada mata kuliah ilmu bahan bangunan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan abu vulkanik terhadap kuat tekan dan permeabilitas *paving block*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium dengan pengujian sampel. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *paving block* dengan ukuran 6,5 x 10 x 20 cm dengan jumlah sampel sebanyak 45 buah. Variasi dimulai dari 0%, 5%, 10%, 20% dan 25% abu vulkanik menggantikan agregat halus. Masing-masing sampel berjumlah 9 buah. Adapun pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat tekan dan pengujian permeabilitas.

Penggantian abu vulkanik sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam pembuatan *paving block* berdampak positif. Nilai optimal yang dicapai untuk kuat tekan sebesar 30,8 MPa pada variasi penggantian 10,4% sedangkan untuk permeabilitas optimal nilai terbaik dicapai pada variasi 16,6875% dengan permeabilitas sebesar 8,416%.

Kata Kunci : *paving block*, abu vulkanik, kuat tekan, permeabilitas.

1. PENDAHULUAN

Latar belakang penelitian ini adalah memanfaatkan abu vulkanik sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada *paving block*.

Ketika dunia pendidikan selalu membutuhkan penelitian dan penemuan sebagai pendukung dan memperluas pengetahuan dengan salah satu cara mengemas pengetahuan tersebut ke dalam bahan ajar agar bahan ajar yang ada kaya akan pembaharuan.

Pendidikan Teknik Bangunan adalah salah satunya, dengan misi menyelenggarakan pendidikan guna mempersiapkan mahasiswa sebagai tenaga pendidik (guru) dan teknisi di bidang struktur dan gambar bangunan yang siap berkembang ke arah profesional, mempunyai daya saing dan mempunyai sikap mandiri. Untuk menunjang misi ini PTB memiliki kurikulum yang terdiri dari berbagai kelompok mata kuliah. Mata kuliah ilmu bahan bangunan merupakan mata kuliah yang mendalami tentang jenis dan karakteristik dari material bahan bangunan. Mata kuliah ini mengulas tentang batu alam, agregat, bahan perekat hidrolis, air, *admixture*, logam, kayu, bambu, keramik, batako dan *paving block*.

Paving block merupakan salah satu material bangunan tersusun dari semen, pasir dan air yang sering pula digunakan sebagai perkerasan jalan. Perkerasan jalan mengalami inovasi, salah satunya dalam penggunaan *paving block* sebagai material perkerasan jalan menggantikan aspal maupun beton. Sebagai material perkerasan jalan, *paving block* yang digunakan haruslah memiliki kuat tekan yang tinggi untuk menghindari pecah ketika dilalui oleh kendaraan. Ada beberapa keuntungan dalam penggunaan *Paving block*, diantaranya adalah hemat material, lebih murah jika dibandingkan dengan perkerasan jalan menggunakan aspal yang komposisinya dapat terdiri dari berlapis-lapis material. Jika *paving block* mengalami kerusakan pada satu titik maka dapat dengan mudah diperbaiki dengan mengganti *paving* yang rusak dengan *paving block* yang baru tanpa harus merombak keseluruhan. Selain itu *paving block* juga memiliki daya serap air yang tinggi sebab pada sela-sela antar *paving* tidak menggunakan semen namun menggunakan pasir, dan berguna sebagai penyerapan air.

Selain itu laju pertumbuhan penduduk yang sangat tinggi memungkinkan permintaan

material yang ada akan semakin meningkat. *Paving block* yang terdiri dari semen, pasir dan air, salah satu komponennya dapat diganti dengan bahan lain seperti abu vulkanik sebagai alternatif pengganti sebagian agregat halus. Abu vulkanik didapatkan dari letusan gunung berapi di Indonesia pada tanggal 13 Februari 2014 yaitu Gunung Kelud. Abu vulkanik dapat digunakan sebagai bahan pozzolan karena mengandung unsur silika dan alumina sehingga dapat mengurangi penggunaan pasir sebagai bahan bangunan. Namun abu vulkanik membuat beberapa kerugian, seperti rusaknya beberapa bagian rumah akibat tertutup abu vulkanik tebal. Abu vulkanik yang terbang terbawa angin dapat menyebabkan polusi dan mengganggu kesehatan. Dengan memanfaatkan abu vulkanik sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada *paving block* dimaksudkan dapat berpengaruh pada kuat tekan dan permeabilitas. Selain pengaruh tersebut, hasil dari penelitian ini dimanfaatkan sebagai pengembangan bahan ajar, studi kasus untuk ilustrasi dan pembendaharaan ilmu pada mata kuliah ilmu bahan bangunan yang khusus mempelajari tentang jenis dan karakteristik dari material bahan bangunan.

KAJIAN PUSTAKA

Ilmu Bahan Bangunan

Ilmu bahan bangunan merupakan mata kuliah wajib ditempuh oleh seluruh mahasiswa program studi Pendidikan Teknik Bangunan di Universitas Sebelas Maret Surakarta. Pada mata kuliah ilmu bahan bangunan mempelajari tentang jenis dan karakteristik dari bahan konstruksi.

Paving Block

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996). *Paving block* terdiri dari air, semen dan pasir.

1. Klasifikasi, Syarat Dan Ukuran *Paving Block*.

a. Klasifikasi menurut SNI 03-0691-1996

1) Bata beton mutu A digunakan untuk jalan.

- 2) Bata beton mutu B digunakan untuk peralatan parkir.
- 3) Bata beton mutu C digunakan untuk pejalan kaki.
- 4) Bata beton mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

b. Syarat mutu dan ukuran *Paving Block*

Untuk syarat mutu secara visual *paving block* harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah dirusak dengan jari tangan. Sedangkan untuk ukuran yang disyaratkan yaitu harus mempunyai tebal minimum 60 mm dengan toleransi kurang lebih 8%. Sedangkan untuk sifat fisika yang harus dimiliki bata beton tertera pada tabel 2.3

Tabel 1. Sifat-sifat Fisika *Paving Block*

Mutu	Kuat (Mpa)	Tekan	Ketahanan (mm/menit)	aus	Penyerapan air rata-rata maks
	Rata-rata	Min	Rata-rata	Min	(%)
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

(sumber: SNI 03-0691-1996)

Abu Vulkanik

Menurut ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 Parts 1 226.3R-3 dalam Tjokrodinulyo (2004), abu vulkanik termasuk pada kelas N, dari 3 jenis *fly Ash*, dimana abu berasal dari pozzolan alam atau hasil dari pembakaran. Abu vulkanik, sering disebut juga pasir vulkanik atau jatuhnya piroklastik adalah bahan material vulkanik jatuhnya yang disebarkan ke udara saat terjadi suatu letusan, terdiri dari batuan berukuran besar sampai berukuran halus. Batuan yang berukuran besar (bongkah - kerikil) biasanya jatuh disekitar kawah sampai radius 5 – 7 km dari kawah, dan yang berukuran halus dapat jatuh pada jarak mencapai ratusan km bahkan ribuan km dari kawah karena dapat terpengaruh oleh adanya hembusan angin.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Jurusan dan Laboratorium Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang akan menguji kualitas *paving block* dengan abu vulkanik sebagai pengganti sebagian agregat halus. Variasi penggantian abu vulkanik dalam penelitian ini adalah 0%, 5%, 10%, 20% dan 25%. Karakteristik dalam penelitian ini adalah kuat tekan dan daya resapan air. Benda uji yang digunakan adalah *paving block* berukuran 6,5 x 10 x 20 cm sejumlah 9 buah setiap variasi. Jumlah keseluruhan sampel batu bata dapat dilihat pada tabel 2.

No	Persentase Penggantian	Jumlah sampel
1	0%	9 buah
2	5%	9 buah
3	10%	9 buah
4	20%	9 buah
5	25%	9 buah

Total sampel = 45 buah

Penelitian ini dilaksanakan dalam 7 tahap yaitu: (1) Persiapan alat dan bahan, (2) Pemeriksaan bahan (3) Perhitungan rencana campuran dan pembuatan benda uji, (4) Perawatan benda uji yang meliputi penyiraman air selama 28 hari (5) Pengujian benda uji, (6) Analisis data menggunakan SPSS 19, (7) Kesimpulan dari penelitian.

Pengujian benda uji yang dilakukan pada penelitian ini adalah kuat tekan dan daya permeabilitas.

1. Kuat tekan batu bata

Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin CTM (*Compaction Testing Machine*) merk Controls dengan kapasitas 1500 KN (150000 Kg) yaitu dengan cara:

- a. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris, tambahkan lempengan baja panjang agar semua permukaan terkena mesin tekan.
- b. Jalankan mesin tekan dengan menambahkan beban yang konstan.
- c. Tambahkan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur serta jarum pada mesin CTM turun dengan sendirinya kemudian catat jarum merah yang masih bertahan.

Pengukuran kuat tekan untuk *paving block* menurut SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*) untuk perhitungan kuat tekan dapat dihitung dengan rumus :

Kuat tekan = P/A
 Dimana
 P = beban tekan (N)
 A = luas bidang tekan (mm^2)

2. Permeabilitas

Pengujian dilakukan dengan cara :

- Benda uji dalam keadaan utuh direndam dalam air hingga jenuh selama 24 jam.
- Benda uji yang sudah direndam 24 jam ditimbang dalam keadaan basah kemudian dicatat (B)
- Setelah ditimbang dalam kondisi basah, benda uji dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu $\pm 105^\circ\text{C}$.
- Benda uji yang sudah dikeringkan ditimbang kembali (A).

Untuk penghitungan penyerapan air dapat dihitung menggunakan rumus (SNI 03-0691-1996).

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

Dimana

A = berat bata beton basah

B = berat bata beton kering

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Abu Vulkanik

Berdasarkan hasil pengujian abu vulkanik yang berasal dari letusan gunung Kelud yang diambil di daerah Surakarta memiliki kadar sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Uji Abu Vulkanik

Uji Bahan	Nilai	Standar
Kadar Lumpur	14,3%	< 5%
Kadar Air	0,333%	1 -3%
Kadar Zat Organik	0-10%	0 –10%
Specific Gravity	2,492	1-3
Gradasi	Masuk Daerah IV	

Untuk hasil uji kandungan kimia abu vulkanik sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Uji XRF Abu Vulkanik

Form ula	Z	Conce ntratio n	Status	Line 1.
SiO ₂	1 4	51,57 %	Fit spectr um	Si KA 1/E Q20
Al ₂ O ₃	1 3	16,22 %	Fit spectr um	Al KA 1/E Q20
Fe ₂ O ₃	2 6	12,52 %	Fit pectrum	Fe KA 1/E Q20
CaO	2 0	12,17 %	Fit spectr	Ca KA 1/E Q20

			um		
MgO	1 2	2,96%	Fit spectr um	Mg 1/E Q20	KA
K ₂ O	1 9	1,20%	Fit spectr um	K KA 1/E Q20	1/E
TiO ₂	2 2	1,04%	Fit spectr um	Ti KA 1/E Q20	KA
P ₂ O ₅	1 5	0,69%	Fit spectr um	P KA 1/E Q20	1/E
SO ₃	1 6	0,51%	Fit spectr um	S KA 1/E Q20	1/E
Cl	1 7	0,45%	Fit spectr um	Cl KA 1/E Q20	KA
MnO	2 5	0,32%	Fit spectr um	Mn KA 1/E Q20	KA
SrO	3 8	0,18%	Fit spectr um	S KA 1/E Q20	1/E
V ₂ O ₅	2 3	0,05%	Fit spectr um	V KA 1/E Q20	1/E
SnO ₅	5 0	0,03%	Fit spectr um	Sn KA 1/E Q20	1/E
BaO	5 6	0,03%	Fit spectr um	Ba KA 1/E Q20	KA
CuO	2 9	0,02%	Fit spectr um	Cu KA 1/E Q20	KA
ZnO	3 0	0,01%	Fit spectr um	Zn KA 1/E Q20	KA

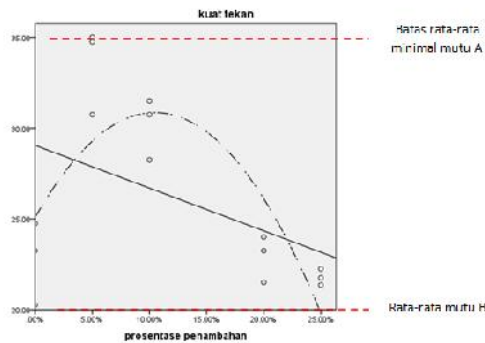
(Sumber : Lab. MIPA Terpadu UNS)

Berdasarkan pada tabel 4 diketahui bahwa kandungan tertinggi yang dimiliki oleh abu vulkanik adalah alumina dan silika.

2. Kuat Tekan

Berdasarkan hasil uji regresi untuk hipotesis pertama, menunjukkan bahwa variasi penggantian agregat halus dengan abu vulkanik berpengaruh secara signifikan dengan tingkat korelasi yang kuat terhadap kuat tekan *paving block*.

Pada hasil analisa SPSS 19 didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan

Berdasarkan gambar 1 perhitungan menggunakan SPSS 19 didapat nilai kuat tekan maksimal pada variasi 10,4% dengan kuat tekan sebesar 30,8 MPa dalam peraturan SNI 03-0691-1996 nilai kuat tekan 30,8 MPa masuk dalam mutu B, sedangkan batas minimal mutu A ketika kuat tekan rata-rata 35 MPa.

Proses hidrasi semen akan menghasilkan hasil sampingan berupa Ca(OH)_2 atau kalsium hidroksida, Ca(OH)_2 yang relatif lemah dan menghasilkan ruang berongga, sehingga akan mengurangi kepadatan dan kekuatan beton. Adanya abu vulkanik di dalam *paving block*, maka Ca(OH)_2 akan bereaksi dengan unsur silikat dan aluminat yang terkandung pada abu vulkanik dan menghasilkan *tobermorite* (silikat hidrat). *Tobermorite* merupakan zat yang padat dan kuat berfungsi untuk mengisi pori-pori dalam beton. Dengan terisinya pori-pori maka akan semakin padat *paving block*. Hal ini alasan mengapa abu vulkanik dapat meningkatkan kuat tekan saat penggantian pada variasi 5% dan 10%.

Penggantian 20% dan 25% terjadi penurunan kuat tekan. Jika Ca(OH)_2 sebagai hasil sampingan dari hidrasi semen bereaksi dengan unsur silikat dan aluminat kemudian menghasilkan *tubermorite* yang mengisi pori-pori pada *paving block*. Pada penelitian ini volume semen tetap sedangkan volume abu vulkanik terus ditambah sesuai dengan porsi variasi penggantian agregat halus. Pada keadaan ini jumlah Ca(OH)_2 tidak seimbang dengan jumlah aluminat dan silika yang ada. Ca(OH)_2 yang dihasilkan bereaksi dengan unsur silika dan aluminat sesuai dengan jumlah Ca(OH)_2 . Sedangkan sisanya tidak bereaksi. Abu vulkanik yang tidak bereaksi dengan hasil sampingan hidrasi

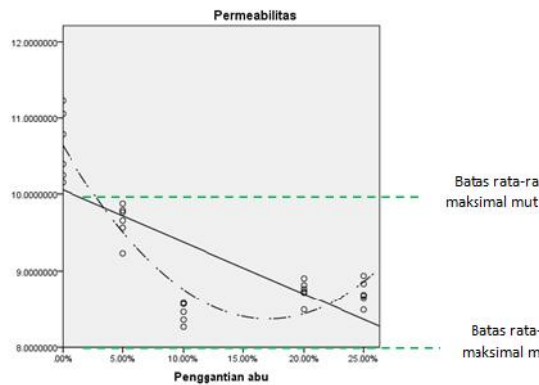
semen, akan menggantikan posisi dari agregat halus (pasir).

Butiran abu vulkanik juga memiliki luas permukaan yang hampir seragam, sehingga ketika abu vulkanik menggantikan pasir maka luas permukaan yang membutuhkan semen sebagai perekat akan makin banyak. Sedangkan volume semen yang digunakan pada tiap varian memiliki jumlah sama sebab pada penelitian ini abu vulkanik diposisikan sebagai pengganti sebagian agregat halus. Dengan jumlah perekat yang kurang, maka kerekatan antar agregatnya tidak dapat merata dan maksimal. Hal ini berpengaruh pada penurunan kuat tekan penggantian agregat halus variasi 20% dan 25%. Selain luas permukaan yang membutuhkan perekat dengan jumlah yang sepadan, gradasi agregat halus juga mempengaruhi. Butiran abu vulkanik yang memiliki diameter butiran yang hampir sama membuat campuran yang seragam. Pada sebuah proses perekatan jika memiliki agregat dengan diameter butiran yang seragam maka agregat tidak dapat saling melengkapi. Berbeda dengan agregat yang memiliki diameter yang bervariasi, agregat yang berdiameter lebih kecil akan mengisi ruang kosong antar agregat yang berdiameter lebih besar. Namun hal ini tidak berlaku pada abu vulkanik, diameter abu vulkanik yang hampir seragam membentuk celah-celah yang tidak dapat terisi agregat. Celah-celah tersebut membentuk rongga yang menjadikan penurunan kuat tekan pada *paving block*.

3. Permeabilitas

Berdasarkan hasil uji regresi untuk hipotesis kedua, menunjukkan bahwa variasi penggantian agregat halus dengan abu vulkanik berpengaruh secara signifikan dengan tingkat korelasi yang kuat terhadap permeabilitas *paving block*.

Pada hasil pengolahan data menggunakan SPSS 19 didapat grafik sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik Permeabilitas

Berdasarkan gambar 4 perhitungan menggunakan SPSS 19 didapat nilai permeabilitas minimal pada variasi 16,6875% dengan nilai permeabilitas sebesar 8,416% dalam peraturan SNI 03-0691-1996 nilai permeabilitas 8,416% masuk dalam mutu C yang difungsikan untuk pejalan kaki. Sedangkan untuk batas maksimal untuk mutu D adalah 10%.

Permeabilitas optimal berada pada variasi 16,6875%. Abu vulkanik termasuk dalam material pozzolan. Sesuai dengan ASTM C618 bahwa pozzolan tidak memiliki sifat perekat seperti semen.

Pada saat proses hidrasi semen akan menghasilkan hasil sampingan berupa Ca(OH)_2 atau kalsium hidroksida, Ca(OH)_2 yang relatif lemah dan menghasilkan ruang berongga, ruang rongga ini akan mengurangi kepadatan dan kekuatan beton. Adanya abu vulkanik di dalam *paving block*, maka Ca(OH)_2 akan bereaksi dengan unsur silikat dan aluminat yang terkandung dalam abu vulkanik kemudian menghasilkan *tobermorite* (silikat hidrat). *Tobermorite* merupakan zat yang padat dan kuat berfungsi untuk mengisi pori-pori yang terdapat dalam beton. Dengan terisinya pori-pori maka akan semakin padat *paving block*. Dengan semakin padat *paving block* maka tempat untuk penyerapan air akan sedikit. Jika semakin sedikit penyerapan air maka semakin baik mutu dari *paving block*. Berbeda keadaan jika terdapat banyak rongga pada *paving block*, rongga tersebut dapat menampung air yang banyak yang berakibat pada tingginya daya serap air.

Berdasarkan data diketahui bahwa semakin banyak abu vulkanik menggantikan agregat halus maka daya serap air semakin tinggi. Pada hasil sampingan proses hidrasi

semen yaitu Ca(OH)_2 yang dapat bereaksi dengan silika dan alumina menghasilkan zat yang padat dan kuat. Jika jumlah Ca(OH)_2 tidak seimbang maka akan ada abu vulkanik yang tidak bereaksi dengan Ca(OH)_2 . Hal ini menjadikan *paving block* memiliki daya resapan air yang tinggi akibat dari abu vulkanik yang tidak berubah bentuk menjadi *tobermorite*. Selain reaksi dengan Ca(OH)_2 , butiran abu vulkanik yang halus membuat luas permukaan butiran membutuhkan perekat lebih banyak pada penggantian variasi tertentu. Sedangkan semen sebagai perekat ditakar dengan volume yang sama dalam semua variasi penggantian agregat halus, akibatnya perekatan yang terjadi tidak keseluruhan. Ini berakibat pada daya serap air, agregat halus yang tidak merekat sempurna akan menyerap banyak air karena agregat tersebut tidak rapat akibat kekurangan perekat. Selain luas permukaan yang membutuhkan perekat dengan jumlah yang sepadan, gradasi agregat halus juga mempengaruhi. Butiran abu vulkanik yang memiliki diameter butiran yang sama membuat campuran yang seragam. Diameter abu vulkanik yang hampir seragam membentuk celah-celah yang tidak dapat terisi agregat dan dapat menyimpan air. Jelas bahwa dengan adanya rongga yang menyimpan air maka daya serap air akan semakin tinggi. Menurut peraturan SNI 03-0691-1996, permeabilitas dikatakan baik ketika nilai persentase resapannya makin kecil.

Pembuatan *paving block* dengan perbandingan volume 1:3 menggunakan abu vulkanik sebagai pengganti sebagian agregat halus. Sebaiknya menggunakan variasi penggantian 10,4%. Pada variasi ini *paving block* memiliki kuat tekan maksimal, walaupun pada nilai permeabilitasnya tidak optimal. Pada perencanaan awal *paving block* dengan abu vulkanik ini dirancang untuk masuk pada mutu A yang digunakan untuk jalan. Namun pada hasil penelitian menunjukkan *paving block* dengan abu vulkanik masuk dalam mutu B yang digunakan untuk parkir. Oleh karenanya nilai permeabilitas tidak terlalu berpengaruh dalam pemanfaatannya. Justru pada kuat tekan yang harus ada di titik maksimal sebab akan menerima beban berat dari kendaraan yang terparkir maupun kendaraan yang bergerak.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh abu vulkanik sebagai penggantian sebagian agregat halus terhadap kuat tekan dan permeabilitas pada *paving block* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil uji diketahui bahwa abu vulkanik berpengaruh positif yaitu dapat meningkatkan kuat tekan pada *paving block*.
2. Berdasarkan hasil uji menunjukkan bahwa penggantian abu vulkanik berpengaruh positif yaitu dapat memperkecil nilai permeabilitas *paving block*.
3. Nilai maksimal kuat tekan pada penggantian abu vulkanik ada pada variasi 10,4% dengan kuat tekan 30,8 MPa yang berarti masuk pada paving mutu B dengan mengabaikan nilai permeabilitas.
4. Nilai optimal permeabilitas pada penggantian abu vulkanik pada variasi 16,6875% dengan nilai permeabilitas sebesar 8,416% yang masuk pada paving mutu C dengan mengabaikan nilai kuat tekan.
5. Nilai optimal penggunaan abu vulkanik secara umum ada pada variasi 10%.

Daftar Pustaka

- _____. (1996). *SK SNI 03-0691-1996. Bata Beton (Paving Block)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Agustin, R.S. (2012). *Ilmu Bahan Bangunan*, Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Jurusan Pendidikan Teknik Dan Kejuruan. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Asroni, A. (2010). *Balok Dan Plat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Garaha Ilmu.
- Astanto, T.B. (2001). *Konstruksi Beton Bertulang*. Yogyakarta: Kanisius.
- Nugraha, P & Antoni. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- Tjokrodimulyo, K. (2004). *Teknologi Beton*, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Wikipedia. (2014). Pengertian Abu vulkanik Diperoleh 18 Maret 2014, dari http://id.wikipedia.org/wiki/Abu_vulkanik

Yogo Prihantono. (2013). *Pengaruh Abu Pembakaran Sampah Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Karakteristik Lockbrick Modular*. Skripsi Tidak Dipublikasikan, Surakarta : Universitas Sebelas Maret.

