

Pengaruh Penggunaan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Mortar

Widayanto¹ Mizanuddin Sitompul²

¹Manajemen Rekayasa Konstruksi Gedung, Politeknik Negeri Medan

²Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Indonesia

e-mail : widayanto.19590202@polmed.ac.id

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu vulkanik Gunung Sinabung terhadap kuat tekan dan penyerapan air mortar serta kelayakannya untuk pembuatan bata beton pejal dan paving block yang memenuhi standar mutu bahan bangunan di Indonesia. Penelitian dilakukan dengan membuat benda uji berupa kubus mortar ukuran 5x5x5 cm dengan variasi komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi semen adalah 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% terhadap berat awal semen, dan faktor air semen adalah 0,60. Pengujian kuat tekan dan penyerapan air mortar dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor penggunaan abu vulkanik Gunung Sinabung sebagai bahan substitusi semen pada mortar dengan persentase 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kuat tekan dan penyerapan air mortar. Makin besar persentase abu vulkanik makin rendah kuat tekan mortar dan makin tinggi penyerapan airnya.

Kata Kunci : Mortar, Abu Vulkanik, Gunung Sinabung, Bata Beton Pejal, Paving Block.

Abstract — This research aims to find out the effect of the use of volcanic ash mount Sinabung on the compressive strength and absorption of mortar and its feasibility for the manufacture of solid concrete bricks and paving blocks that meet the quality standards of building materials in Indonesia. The study was conducted by making a test object in the form of a mortar cube measuring 5x5x5 cm with variations in the composition of volcanic ash as a cement substitution material is 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, and 15% against the initial weight of cement, and the cement-water factor is 0.60. Compressive strength and mortar water absorption test is carried out at the age of 28 days. The results showed that the factor of using volcanic ash mount Sinabung as a cement substitution material in mortar with a percentage of 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, and 15% had a very real effect on the compressive strength and water absorption of mortar. The greater the percentage of volcanic ash the lower the mortar compressive strength and the higher the absorption of water.

Keywords : Mortar, Volcanic Ash, Mount Sinabung, Solid Concrete Bricks, Paving Block .

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan bahan lokal menjadi bahan bangunan yang tepat guna dan ekonomis merupakan sesuatu hal yang patut dipertimbangkan. Peristiwa erupsi gunung Sinabung sejak tahun 2010 yang lalu hingga kini masih terus berlangsung. Peristiwa erupsi itu sendiri mengakibatkan berlimpahnya abu vulkanik dalam jumlah yang sangat besar, dan pemanfaatannya dalam rekayasa bahan bangunan perlu dioptimalkan. Salah satu upaya untuk mengoptimalkan pemanfaatan abu vulkanik gunung Sinabung adalah sebagai bahan substitusi semen *portland* pada pembuatan mortar.

Soeherman, O. (2015) dalam penelitian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik beton yang dibuat dengan metode *Preplaced Aggregate Concrete* (PAC) dengan bahan graut mortar menggunakan abu vulkanik Gunung Kelud

sebagai bahan substitusi semen menyatakan bahwa kuat tekan beton PAC menurun seiring dengan meningkatnya substitusi abu vulkanik. Penggunaan abu vulkanik sebagai bahan substitusi semen tidak mengurangi kuat tekan beton yang ditargetkan, sehingga pemakaian abu vulkanik ini efektif sebagai bahan substitusi semen. Pemanfaatan abu vulkanik pada beton PAC dapat diaplikasikan pada struktur yang membutuhkan kuat tekan yang tidak terlalu tinggi, seperti pada pembuatan beton siklop untuk pondasi sumuran.

Penggunaan abu vulkanik Gunung Kelud sebagai substitusi semen dapat memperlambat waktu alir graut mortar. Kuat tekan graut mortar dengan abu vulkanik semakin rendah seiring dengan meningkatnya substitusi abu vulkanik terhadap semen. Kuat tarik graut mortar menjadi lebih rendah seiring dengan bertambahnya abu vulkanik pada graut mortar. Semakin banyak

substitusi abu vulkanik semakin kecil berat isi graut mortar. Penggunaan abu vulkanik sebagai bahan substitusi semen dinilai efektif karena dapat mengurangi jumlah semen tanpa mengurangi karakteristik mekaniknya (Anggarani, P., 2015).

Dalam penelitian ini akan dibahas seberapa besar pengaruh penggunaan abu vulkanik Gunung Sinabung sebagai bahan substitusi parsial semen terhadap kuat tekan dan penyerapan air mortar. Hasil penelitian tentang sifat fisika dan mekanika pada mortar akan dijadikan sebagai dasar penilaian kelayakan mortar jika diaplikasikan sebagai bata beton pejal dan *paving block* yang memenuhi standar mutu bahan bangunan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Abu vulkanik atau pasir vulkanik adalah bahan material vulkanik jatuhnya yang disebarkan ke udara saat terjadi suatu letusan. Abu maupun pasir vulkanik terdiri dari batuan berukuran besar sampai berukuran halus, yang berukuran besar biasanya jatuh disekitar sampai radius 5-7 km dari kawah, sedangkan yang berukuran halus dapat jatuh pada jarak mencapai ratusan kilometer bahkan ribuan kilometer dari kawah disebabkan oleh adanya hembusan angin (Sudaryo dan Sucipto, 2009).

Tindaon, F. dkk., 2010 menemukan bahwa kandungan unsur hara tersedia abu vulkanik gunung Sinabung didominasi besi (3193,83ppm) dan sulfur (176,58ppm) mangan (62,09ppm), kalium (0,23 m.e/100g), kalsium (10,76 m.e/100g), natrium (0,41 m.e/100g), dan magnesium (0,25 m.e/100g), pH 3,5 – 4,8. Kandungan total unsur abu vulkanik gunung Sinabung tertinggi SiO₂ (84,72%), diikuti Al₂O₃ (7,12%), lalu SO₄ (5,66%), diikuti oleh MgO (0,37%), lalu Na₂O (0,30%), K₂O (0,27%), CaO (0,22%), Fe₂O₃ (0,19 %), P₂O₅ (0,01%), dan MnO (0,01%), dengan pH 3,5 – 4,8.

Nurdiansyah, B, Karolina, R. (2017) dalam penelitian yang dilakukan dengan menguji kualitas *paving block* dengan campuran abu vulkanik erupsi Gunung Sinabung kemudian dilakukan penghamparan benda uji dan digunakan sebagai parkir sepeda motor, pejalan kaki, dan taman selama 90 hari. Variasi yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, dan 75% dari berat awal agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan besar kuat tekan optimum yaitu

25,2 MPa pada *paving block* dengan substitusi tambahan 50% abu vulkanik, daya serap maksimum sebesar 5,998% pada paving block normal, dan keausan maksimum adalah 0,412 mm/menit pada paving block dengan substitusi tambahan 50% abu vulkanik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *paving block* abu vulkanik dapat dikategorikan bata beton mutu B yang digunakan sebagai pelataran parkir sesuai SNI 03-0691-1996.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan dan alat, pembuatan benda uji, pelaksanaan pengujian, pengumpulan dan pengolahan data uji, analisis data uji dan pembahasan, dan kesimpulan.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen portland tipe 1, pasir alami dari Sungai Ular, abu vulkanik dari Gunung Sinabung, dan air bersih dari Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan. Peralatan yang digunakan antara lain mesin uji tekan, mesin pengaduk mortar (*mixer*), mesin pengayak pasir, timbangan dengan ketelitian 0,01gram, oven, cetakan mortar, bak perendaman, peralatan pendukung lainnya seperti sendok spesi, alat pemadat mortar, talam baja, dan spatula.

Pada penelitian ini dibuat sampel benda uji berupa mortar semen berbentuk kubus ukuran 5x5x5 cm dengan komposisi campuran 1 pc: 3 ps dan faktor air semen 0,60. Abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen dibuat dengan variasi komposisi 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% terhadap berat awal semen dengan rancangan jumlah benda uji seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Rancangan jenis dan jumlah benda uji

Jenis Benda Uji	Komposisi Abu Vulkanik terhadap berat awal semen	Jumlah Benda Uji	
		Kuat Tekan	Penyerapan Air
M0	0%	5	5
M3	3%	5	5
M6	6%	5	5
M9	9%	5	5
M12	12%	5	5
M15	15%	5	5

Uji pendahuluan yang dilakukan berupa pemeriksaan terhadap sifat/karakteristik pasir meliputi modulus halus butir, gradasi, bobot isi, berat jenis, kadar air, kadar lumpur, dan

penyerapan air. Untuk semen dan abu vulkanik, uji pendahuluan hanya dilakukan terhadap bobot isi.

Nilai yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis dengan menggunakan program SPSS dengan *one-way* ANOVA sehingga diperoleh analisis variannya. Nilai F_{hitung} hasil analisis dibandingkan dengan F_{tabel} pada ketelitian 95% dan 99%. Tingkat ketelitian 99% dinyatakan berpengaruh sangat nyata, sedangkan tingkat ketelitian 95% dinyatakan berpengaruh nyata. Dalam analisis ini faktor yang digunakan adalah faktor komposisi abu vulkanik yang terdiri atas enam perlakuan dengan lima kali ulangan untuk tiap perlakuan, sehingga jumlah ulangan untuk analisis kuat tekan dan penyerapan air masing-masing sebanyak 30 kali.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji pendahuluan terhadap karakteristik material yang digunakan sebagai bahan campuran mortar menunjukkan bahwa pasir yang digunakan dalam penelitian ini memiliki karakteristik berupa nilai Modulus Halus Butir (MHB) 2,97 dan daerah gradasi pada *zone 2* (pasir agak kasar). Bobot isi pasir adalah 1412 kg/m³, penyerapan air 1,77%, kadar air alami 2,38%, kadar lumpur 1,70%, dan berat jenis kondisi jenuh permukaan kering 2,49. Bobot isi gembur Semen *Portland* adalah 1124 kg/m³, sedangkan bobot isi gembur abu vulkanik sebesar 1125 kg/m³.

Nilai rata-rata hasil uji kuat tekan mortar pada umur 28 hari disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata kuat tekan mortar

Nomor	Jenis Mortar	Komposisi Abu Vulkanik (%)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
1	M0	0	22,08
2	M3	3	19,44
3	M6	6	16,96
4	M9	9	15,84
5	M12	12	15,28
6	M15	15	14,96

Dari Tabel 2 tersebut dapat diketahui bahwa kuat tekan tertinggi adalah pada mortar jenis M0 yaitu mortar semen dengan komposisi abu vulkanik 0% dengan kuat tekan rata-rata sebesar 22,08 Mpa, sedangkan kuat tekan terendah

adalah pada mortar jenis M15 yaitu mortar semen dengan komposisi abu vulkanik 15% sebagai bahan pengganti semen dengan kuat tekan rata-rata sebesar 14,96 Mpa.

Analisis varians untuk mengetahui pengaruh komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen terhadap kuat tekan mortar ditunjukkan pada Tabel 3.

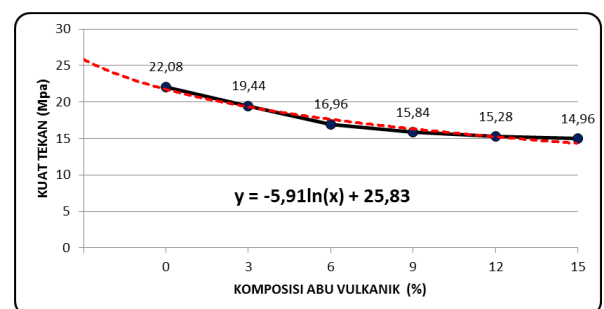
Tabel 3. Analisis varians kuat tekan mortar

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata ² Kuadrat	F_{hitung}	Sign.
Komp.	198,695	5	39,739	51,654**	0,000
Abu	18,464	24	0,769		
Error	217,159	29			
Total					

Keterangan: ** = nilai berbeda nyata pada tingkat ketelitian 99%

Hasil analisis varians kuat tekan mortar semen dengan campuran abu vulkanik Gunung Sinabung pada Tabel 3 menunjukkan bahwa faktor komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen dari 0% hingga 15% berpengaruh sangat nyata terhadap kuat tekan mortar. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan mortar semen dipengaruhi oleh komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen.

Hubungan antara komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen dengan kuat tekan rata-rata mortar semen ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Hubungan antara komposisi abu vulkanik dengan kuat tekan mortar

Gambar 1 menunjukkan bahwa makin besar komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen dalam campuran mortar menyebabkan makin menurunnya kuat tekan mortar. Hubungan antara komposisi abu vulkanik dengan kuat tekan mortar seperti pada Gambar 1 tersebut menurut hasil analisis regresi menggunakan program *Excel* dengan format

trendline logarithmic dinyatakan dengan persamaan $y = -5,91 \cdot \ln(x) + 25,83$, dimana y adalah nilai kuat tekan mortar dan x adalah nilai komposisi abu vulkanik.

Penurunan kuat tekan mortar semen ini dapat dijelaskan bahwa dengan makin besarnya porsi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen, berarti jumlah semen menjadi berkurang. Dengan berkurangnya jumlah semen maka nilai faktor air semen menjadi makin meningkat sehingga kuat tekan mortar menjadi makin rendah. Meskipun sebagian semen yang berkurang itu telah digantikan dengan abu vulkanik, namun abu vulkanik tidak bisa menggantikan fungsi semen sebagai bahan pengikat dalam campuran mortar sehingga kuat tekan mortar menjadi makin rendah.

Nilai rata-rata hasil uji penyerapan air mortar semen pada umur 28 hari disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rata-rata penyerapan air mortar semen

Nomor	Jenis Mortar	Komposisi Abu Vulkanik (%)	Penyerapan Air rata-rata (%)
1	M0	0	11,75
2	M3	3	12,02
3	M6	6	12,15
4	M9	9	12,66
5	M12	12	12,78
6	M15	15	12,91

Dari Tabel 4 tersebut dapat diketahui bahwa penyerapan air terendah adalah pada mortar jenis M0 yaitu mortar semen tanpa campuran abu vulkanik dengan penyerapan air sebesar 11,75%, sedangkan penyerapan air tertinggi adalah pada mortar jenis M15 yaitu mortar semen dengan campuran abu vulkanik sebesar 15% sebagai bahan substitusi parsial semen dengan penyerapan air sebesar 12,91%.

Analisis varians untuk mengetahui pengaruh komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen terhadap penyerapan air mortar semen ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini.

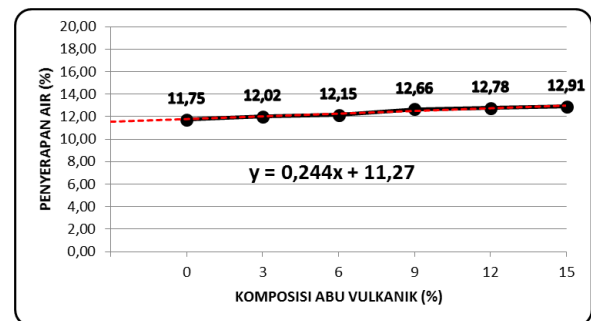
Tabel 5. Analisis varians penyerapan air mortar semen

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rata ² Kuadrat	F _{hitung}	Sign.
Komp. Abu	5,453	5	1,091	96,511**	0,000
Error	0,271	24	0,011		
Total	5,724	29			

Keterangan: ** = nilai berbeda nyata pada tingkat ketelitian 99%

Hasil analisis varians penyerapan air mortar semen dengan abu vulkanik Gunung Sinabung sebagai bahan substitusi parsial semen pada Tabel 5 menunjukkan bahwa faktor komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen dari 0% hingga 15% berpengaruh sangat nyata terhadap penyerapan air mortar. Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan air mortar semen dipengaruhi oleh komposisi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen.

Hubungan antara jenis mortar dengan penyerapan air mortar dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Hubungan antara jenis mortar dengan penyerapan air mortar

Gambar 2 menunjukkan bahwa makin besar porsi abu vulkanik sebagai bahan substitusi parsial semen dalam campuran mortar menyebabkan penyerapan air mortar tersebut makin tinggi. Hubungan antara komposisi abu vulkanik dengan kuat tekan mortar seperti pada Gambar 2 tersebut menurut hasil analisis regresi menggunakan program Excel dengan format *trendline linear* dinyatakan dengan persamaan $y = 0,244x + 11,27$, dimana y adalah nilai penyerapan air mortar semen dan x adalah nilai komposisi abu vulkanik.

Peningkatan penyerapan air ini dapat dijelaskan bahwa dengan meningkatnya jumlah abu vulkanik sebagai bahan substitusi semen berarti jumlah semen makin berkurang sehingga nilai faktor air semen menjadi makin tinggi. Dengan meningkatnya nilai faktor semen dalam adukan mortar, maka akan berakibat makin banyak pori-pori yang timbul pada mortar ketika proses pengerasan selesai sehingga sifat kedap air mortar menjadi makin berkurang, dan hal ini

menyebabkan penyerapan air mortar menjadi makin tinggi.

Perbandingan nilai kuat tekan dan penyerapan air mortar semen hasil penelitian terhadap bata beton pejal standar menurut Standard Industri Indonesia (S.I.I.-0284-80) disajikan dalam Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Perbandingan nilai kuat tekan dan penyerapan air mortar terhadap syarat mutu bata beton pejal

Bata beton pejal	Kuat Tekan Minimum (Mpa)	Penyerapan air maksimum (%)
M0	22,08: A1,A2,B1,B2	11,75: -, -, B1,B2
M3	19,44: A1,A2,B1,B2	12,02: -, -, B1,B2
M6	16,96: A1,A2,B1,B2	12,15: -, -, B1,B2
M9	15,84: A1,A2,B1,B2	12,66: -, -, B1,B2
M12	15,28: A1,A2,B1,B2	12,78: -, -, B1,B2
M15	14,96: A1,A2,B1,B2	12,91: -, -, B1,B2
	S.I.I.-0284-80	
A1	2,5	-
A2	4,0	-
B1	7,0	35
B2	10,0	25

Keterangan:

- = tidak diperbandingkan karena tidak ada standar

Hasil perbandingan nilai kuat tekan mortar semen hasil penelitian terhadap syarat mutu bata beton pejal menurut Standar Industri Indonesia (S.I.I.-0284-80) seperti pada Tabel 6 menunjukkan bahwa mortar semen jenis M0, M3, M6, M9, M12, dan M15 hasil penelitian memenuhi standar kuat tekan untuk bata beton pejal mutu A1, A2, B1, dan B2, yaitu bata beton pejal dengan pemakaian untuk konstruksi yang tidak memikul beban pada kondisi terlindung hingga pada konstruksi yang memikul beban pada kondisi yang tidak terlindung.

Hasil perbandingan nilai penyerapan air mortar semen hasil penelitian terhadap syarat mutu bata beton pejal menurut Standar Industri Indonesia (S.I.I.-0284-80) seperti pada Tabel 6 menunjukkan bahwa mortar jenis M0, M3, M6, M9, M12, dan M15 hasil penelitian memenuhi standar penyerapan air untuk bata beton pejal mutu B1 dan B2, yaitu bata beton pejal dengan pemakaian untuk konstruksi yang memikul beban pada kondisi terlindung maupun kondisi tidak terlindung.

Perbandingan nilai kuat tekan dan penyerapan air mortar semen hasil penelitian terhadap bata beton pejal standar menurut Standard Industri

Indonesia (S.I.I.-0284-80) disajikan dalam Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Perbandingan nilai kuat tekan dan penyerapan air mortar terhadap syarat mutu standar *Paving Block*

Paving Blok	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)	Penyerapan air maksimum (%)
M0	22,08: x, B, C, D	11,75: x, x, x, x
M3	19,44: x, x, C, D	12,02: x, x, x, x
M6	16,96: x, x, C, D	12,15: x, x, x, x
M9	15,84: x, x, C, D	12,66: x, x, x, x
M12	15,28: x, x, C, D	12,78: x, x, x, x
M15	14,96: x, x, x, D	12,91: x, x, x, x
SNI 03-0691-1996		
A	40	3
B	20	6
C	15	8
D	10	10

Keterangan:

x = tidak memenuhi syarat terhadap standar mutu tertentu menurut SNI 03-0691-1996 (sesuai urutan).

Hasil perbandingan nilai kuat tekan mortar semen hasil penelitian terhadap syarat mutu paving block menurut SNI 03-0691-1996 seperti pada Tabel 7 menunjukkan bahwa mortar semen jenis M0 hasil penelitian memenuhi standar kuat tekan untuk *paving block* mutu B, C, dan D yaitu *paving block* dengan pemakaian untuk pelataran parkir, pejalan kaki, dan taman atau penggunaan lain. Mortar semen jenis M3, M6, M9, dan M12 hasil penelitian memenuhi standar kuat tekan untuk *paving block* mutu C dan D yaitu *paving block* dengan pemakaian untuk pejalan kaki dan taman atau penggunaan lain. Mortar semen jenis M15 hasil penelitian memenuhi standar kuat tekan untuk *paving block* mutu D yaitu *paving block* dengan pemakaian untuk taman atau penggunaan lain.

Hasil perbandingan nilai penyerapan air mortar semen hasil penelitian terhadap *paving block* menurut SNI 03-0691-1996 seperti pada Tabel 7 menunjukkan bahwa mortar jenis M0, M3, M6, M9, M12, dan M15 hasil penelitian tidak memenuhi standar penyerapan air untuk *paving block* baik mutu A, B, C, maupun D karena penyerapan airnya lebih besar dari penyerapan air maksimum yang disyaratkan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor penggunaan abu vulkanik Gunung Sinabung sebagai bahan substitusi parsial semen pada mortar dengan persentase 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% terhadap berat awal semen berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kuat tekan dan penyerapan air mortar. Makin besar persentase abu vulkanik makin turun kuat tekan mortar dan makin tinggi penyerapan airnya.
2. Mortar dengan persentase abu vulkanik 0% hingga 15% terhadap berat awal semen jika digunakan untuk bata beton pejal memenuhi syarat kuat tekan dan penyerapan air terhadap standar mutu bata beton pejal mutu A1, A2, B1, dan B2 menurut S.I.I.-0284-80.
3. Berdasarkan standar mutu *paving block* menurut SNI 03-0691-1996, mortar dengan persentase abu vulkanik 0% memenuhi syarat kuat tekan terhadap *paving block* mutu B, C, dan D. Mortar dengan persentase abu vulkanik 3%, 6%, 9%, dan 12% memenuhi syarat kuat tekan terhadap *paving block* mutu C dan D. Mortar dengan persentase abu vulkanik 15% memenuhi syarat kuat tekan terhadap *paving block* mutu D. Mortar dengan persentase abu vulkanik dari 0% hingga 15% tidak

memenuhi syarat penyerapan air terhadap *paving block* mutu A, B, C, dan D.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarani, P., 2015, Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud sebagai Bahan Substitusi Semen pada Graut Mortar, Thesis, Universitas Gadjah Mada.
- Nurdiansyah, B, Karolina, R., 2017, Pengembangan Bata Beton (Paving Block) Menggunakan Abu Vulkanik Gunung Sinabung yang Diberikan Pembebanan Selama 90 Hari, Jurnal Teknik Sipil USU, Vol. 7, No.1.
- Soeherman, O., 2015, Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud sebagai Bahan Substitusi Semen untuk Graut Mortar pada Beton dengan Metode Pengerjaan *Preplaced Aggregate Concrete*, Thesis, Universitas Gadjah Mada.
- Tindaon, F. dkk., 2010, Komposisi Kimia Abu Erupsi Gunung Sinabung Tanah Karo dan Lumpur Vulkanik Sidoarjo Jawa Timur, Prosiding Semirata BKS_PTNI Wilayah Barat. Lhokseumawe.
- Sudaryo dan Sucipto, 2009. Identifikasi dan Penentuan Logam Berat pada Tanah Vulkanik di Daerah Cangkringan, Kabupaten Sleman dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron Cepat. Seminar Nasional V SDM Teknologi. Yogyakarta.