

**PENGARUH PENGGUNAAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI
SEBAGIAN SEMEN PADA CAMPURAN PAVING BLOCK DENGAN TAMBAHAN BOTTOM
ASH 10 % SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PASIR**

Bachrul Ulum

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: bachrululum1@mhs.unesa.ac.id

Muhammad Imaduddin

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhammadimaduddin@unesa.ac.id

Abstrak

Limbah industri berupa abu ampas tebu dan *bottom ash* masih belum maksimal pemanfaatannya. Abu ampas tebu memiliki kandungan silika sebesar 73,5% dan *bottom ash* memiliki kandungan unsur besi sebesar 32,8%. Penelitian terhadap abu ampas tebu dan *bottom ash* digunakan sebagai bahan alternatif untuk campuran pembuatan *paving block*. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran *paving block* dengan tambahan *bottom ash* 10% sebagai bahan substitusi pasir terhadap kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan aus yang sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Penelitian ini menggunakan variasi abu ampas tebu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat semen dan 10% *bottom ash* terhadap berat pasir. Pengujian benda uji *paving block* dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh penggunaan variasi abu ampas tebu dan 10% *bottom ash* terhadap mutu *paving block*. Semakin banyak penggunaan abu ampas tebu menyebabkan *paving block* mengalami penurunan nilai kuat tekan, peningkatan nilai penyerapan air, dan peningkatan nilai ketahanan aus. Pada campuran normal menunjukkan hasil uji kuat tekan sebesar 26,327 MPa, penyerapan air sebesar 4,035%, dan ketahanan aus sebesar 0,094 mm/menit. Pada campuran 5% abu ampas dan 10% *bottom ash* mengalami penurunan kuat tekan dari campuran normal sebesar 39,1% dengan nilai kuat tekan sebesar 16,033 MPa. Nilai penyerapan air meningkat dari campuran normal sebesar 60,1% dengan nilai penyerapan air sebesar 6,46%. Sedangkan nilai ketahanan aus mengalami peningkatan dari campuran normal sebesar 8,5% dengan nilai ketahanan aus sebesar 0,102 mm/menit.

Kata kunci: Abu Ampas Tebu, *Bottom Ash*, *Paving Block*, Kuat Tekan, Penyerapan Air, Ketahanan Aus.

Abstract

The industrial waste of bagasse ash and bottom has not been maximally used. The bagasse ash had 73,5% silica content and bottom ash had an iron content of 32,8%. Research into the bagasse ash and bottom ash was used as an alternative to the paving block mixture. The purpose of this study is to know the impact of using bagasse ash as a partial substitution of cement on a paving block mixture with a 10% of the bottom ash as a sand substitute of compressive strength, water absorption, and wear resistance according to SNI 03-0691-1996. This study used variations of bagasse ash of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% by weight of cement and 10% of bottom ash by weight of sand. Testing of paving block test was done at the age of 28 days. The results showed that there was an effect of variations in bagasse ash and 10% bottom ash in paving block quality. The increasing use of bagasse ash causes paving block to experience a decrease in the value of compressive strength, increased value of water absorption, and increased value of wear resistance. The normal mixture shows a compressive strength of 26,327 MPa, water absorption of 4,035%, and wear resistance of 0,094 mm/minute. On a mix of 5% of bagasse ash and 10% bottom ash has decreased the compressive strength of normal mixture is equal of 39,1% with the compressive strength is 16,033 MPa. The value of water absorption increased from the normal mixture by 60,1% with the water absorption is 6,46%. Whereas the value of wear resistance is increased by a normal mixture of 8,5% with the wear resistance is 0,102 mm/minute.

Keywords: Bagasse Ash, Bottom Ash, Paving Block, Compressive Strength, Water Absorption, Wear Resistance.

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang terus melakukan pembangunan di segala bidang,

salah satunya dalam bidang konstruksi. Dengan berkembangnya pembangunan di segala bidang konstruksi maka kebutuhan bahan bangunan juga

semakin tinggi. Inovasi-inovasi baru banyak dilakukan di bidang ini. Dari alternatif bahan pembuatan beton hingga bahan perkerasan jalan. Salah satu bahan perkerasan jalan yang sekarang banyak digunakan yaitu *paving block*. Hal ini dikarenakan *paving block* memiliki bentuk dan pola pemasangannya yang bervariasi serta mudah dalam pemasangannya. Selain itu, dari segi biaya lebih sedikit daripada bahan perkerasan jalan lainnya seperti aspal. Bahan utama dalam pembuatan *paving block* yaitu semen dan pasir. Seiring berkembangnya zaman maka bahan baku yang dipakai akan semakin berkurang khususnya semen dan pasir. Salah satu upaya untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan memanfaatkan sumber daya limbah yang ada di lingkungan. Dalam hal ini menggunakan alternatif *bottom ash* sebagai bahan tambahan pasir dan abu ampas tebu sebagai bahan tambahan semen.

Bottom ash merupakan limbah dari proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang jatuh pada tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*). Cara mengeluarkan limbah tersebut yaitu dengan menyemprotkan air pada *ash hopper*. Karakteristik fisik dari *bottom ash* berbentuk butiran antara pasir sampai kerikil, berporos, dan berwarna abu-abu gelap. *Bottom ash* memiliki kandungan unsur kimia yang dominan yaitu unsur besi (Fe) sebesar 57,71%, begitu juga dengan pasir yang mengandung unsur besi sebanyak 44,1% (Laila, 2018).

Menurut penelitian Laila (2018) bahwa penggunaan substitusi *bottom ash* terhadap pasir pada campuran *paving block* yang optimum sebesar 10%. Hasil uji kuat tekan mengalami peningkatan pada campuran *paving block* dengan substitusi 10% *bottom ash* sebagai bahan tambahan pasir.

Abu ampas tebu merupakan limbah pembakaran *boiler* pada pabrik gula. Pada PT. Pabrik Gula Ngadirejo limbah yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai pupuk. Perlu adanya penelitian lebih lanjut agar abu ampas tebu bisa dimanfaatkan secara lebih, sehingga dalam penelitian ini memanfaatkan abu

ampas tebu sebagai bahan tambahan semen pada campuran *paving block*. Sebagai pertimbangan digunakannya abu ampas tebu pada penelitian ini disebabkan karena pengadaannya yang mudah dan murah, sehingga akan lebih menguntungkan dari segi ekonomis. Sebagian besar kandungan unsur abu ampas tebu memiliki kesamaan dengan semen yaitu silika (Sati, dkk, 2019). Kandungan silika yang tinggi pada abu ampas tebu memiliki sifat *pozzolan* (Rompas, dkk, 2013). Menurut SNI 03-2834-2000, *pozzolan* merupakan bahan yang apabila dicampur dengan kapur dan air akan membentuk benda padat yang keras. Bahan yang tergolongkan *pozzolan* diantaranya yaitu semen merah, tras, abu terbang, dan bubukan terak tanur tinggi. Dengan kandungan silika yang tinggi dan memiliki butiran yang halus, maka abu ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif tambahan sebagian semen pada campuran pembuatan *paving block*.

Penelitian abu ampas tebu sebagai bahan pengurang semen dalam *paving block* telah dilakukan oleh Jawara, dkk (2018), dengan perbandingan komposisi antara semen dan pasir yaitu 1 PC : 4 Ps. Menunjukkan hasil bahwa penggunaan abu ampas tebu dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% didapatkan hasil yang terbaik pada penambahan abu ampas tebu sebesar 5%. Dengan penambahan abu ampas tebu 5% memiliki hasil kuat tekan yaitu 34,63 MPa dan daya serap air sebanyak 2,12%. Semakin banyak proporsi campuran abu ampas tebu yang digunakan memiliki kecenderungan menurunkan kuat tekan dan bila ditinjau dari penyerapan air semakin tinggi seiring banyaknya proporsi abu ampas tebu yang digunakan.

Berdasarkan penjelasan paragraf sebelumnya bahwa *bottom ash* dan abu ampas tebu dinilai potensial untuk digunakan sebagai alternatif bahan tambahan pada campuran pembuatan *paving block*. *Bottom ash* sebagai bahan tambahan dalam campuran pasir dan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi sebagian semen pada pembuatan *paving block*. Dengan memaksimalkan pemanfaatan *bottom*

ash dan abu ampas tebu diharapkan dapat menjadi alternatif sebagai bahan tambahan pada campuran *paving block* yang menghasilkan mutu berkualitas sesuai SNI 03-0691-1996.

Tujuan dalam penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran *paving block* dengan tambahan *bottom ash* 10% sebagai bahan substitusi pasir terhadap penyerapan air, kuat tekan, dan ketahanan aus yang sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode penelitian kuantitatif. Metode kuantitatif yang digunakan ialah metode penelitian eksperimen yaitu mencari pengaruh pengaruh penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan tambahan semen pada campuran *paving block* dengan tambahan *bottom ash* 10% sebagai bahan tambahan pasir terhadap penyerapan air, kuat tekan, dan ketahanan aus yang sesuai SNI 03-0691-1996.

Beberapa tahapan dalam penelitian ini dengan mempelajari studi literatur yang berkaitan, persiapan alat dan bahan, perencanaan *mix design*, pembuatan benda uji, perawatan, pengujian, analisis data serta kesimpulan dan saran.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi semen, air, pasir Lumajang, *bottom ash*, dan abu ampas tebu. Semen yang digunakan berasal dari PT. SCG, Surabaya dan *bottom ash* berasal dari PT. Wilmar Nabati Indonesia, Gresik. Sedangkan abu ampas tebu diambil dari limbah PG. Ngadirejo, Kediri.

Pengujian karakteristik bahan meliputi uji kandungan kimia, uji semen dan abu ampas tebu, dan uji pasir dan *bottom ash*. Pengujian kandungan kimia antara lain: pasir Lumajang, *bottom ash*, dan abu ampas tebu. Uji kandungan kimia menggunakan XRF di Laboratorium Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang. Pengujian semen dan abu ampas tebu yang dilakukan adalah uji berat jenis. Sedangkan pengujian pasir dan *bottom ash* antara lain: penyerapan air dan berat

jenis, analisa ayakan, kotoran organis, dan kadar lumpur. Uji semen, abu ampas tebu, *bottom ash*, dan pasir Lumajang dilaksanakan di Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.

Perencanaan campuran (*mix design*) menggunakan komposisi campuran *paving block* dengan perbandingan 1 semen: 3 pasir. Faktor air semen (FAS) yang digunakan sebesar 20% dari berat semen. Benda uji *paving block* berukuran 21 cm x 10,5 cm x 6 cm. Penelitian ini menggunakan 6 variasi campuran dengan masing-masing variasi menggunakan substitusi abu ampas tebu terhadap berat semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dan substitusi *bottom ash* sebesar 10% terhadap berat pasir.

Pembuatan benda uji dilaksanakan di UD. Banuwa Bangun, Surabaya menggunakan mesin pencetak *paving block* hidraulis. Setelah *paving block* selesai dicetak kemudian diletakkan pada tempat penyimpanan dan didiamkan selama 24 jam selanjutnya dilakukan perawatan disiram dengan air dua kali sehari sampai umur benda uji 28 hari.

Pengujian karakteristik fisik *paving block* yang dilakukan ialah uji penyerapan air, kuat tekan, dan ketahanan aus. Pengujian benda uji mengacu pada SNI 03-0691-1996.

Objek penelitian ini yaitu *paving block* yang menggunakan campuran abu ampas tebu sebagai bahan substitusi sebagian semen dan 10% *bottom ash* sebagai substitusi bahan pasir. Variasi abu ampas tebu yang digunakan sebagai bahan substitusi semen yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Objek penelitian yang digunakan yaitu *paving block* berbentuk segi panjang yang memiliki ukuran 21 cm x 10,5 cm x 6 cm. jumlah benda uji penelitian terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

Komposisi	Perlakuan			Benda Uji
	Kuat Tekan	Keausan	Daya Serap	
IPC : 0 AAT : 3PS : 0 BA	3	3	3	9

0,95PC : 0,05AAT : 2,7PS : 0,3BA	3	3	3	9
0,9PC : 0,1AAT : 2,7PS : 0,3BA	3	3	3	9
0,85PC : 0,15AAT : 2,7PS : 0,3BA	3	3	3	9
0,8PC : 0,2AAT : 2,7PS : 0,3BA	3	3	3	9
0,75PC : 0,25AAT : 2,7PS : 0,3BA	3	3	3	9
Total benda uji				54

Keterangan :

PC : Semen Portland

AAT : Abu Ampas Tebu

PS : Pasir

BA : *Bottom Ash*

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini ialah dengan melakukan observasi terhadap karakteristik bahan dan karakteristik fisik dari *paving block*.

Observasi terhadap karakteristik bahan meliputi kandungan kimia, berat jenis, analisa ayakan, pemeriksaan kadar organis, dan kadar lumpur. karakteristik fisik dari *paving block* yaitu uji kuat tekan, ketahanan aus, dan penyerapan air. pengujian tersebut berpedoman pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*) dan SNI 03-0028-1987 tentang ubin semen polos.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan statistik deskriptif kuantitatif yaitu dengan menganalisa data dari hasil pengujian dan dikorelasikan berdasarkan penelitian maupun buku. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang disertai informasi mengenai hasil dari tabel dan grafik.

Hasil Penelitian

Hasil penelitian dibagi dalam pengujian karakteristik bahan dan pengujian *paving block*

1. Pengujian karakteristik bahan

a. Uji semen

Uji material semen yang dilakukan yaitu uji berat jenis. Pengujian berat jenis semen dilakukan bersama tim yang beranggotakan penulis, Agam Adi Pranata, Moh. Ainur Rokhman, dan Yollanda Mardany. Diperoleh hasil perhitungan berat jenis semen sebesar 2,941 gram/cm³.

b. Uji Abu Ampas Tebu (AAT)

Uji kandungan kimia dari AAT diperoleh dari uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material FMIPA UM. Untuk hasil uji XRF terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Kimia Abu Ampas Tebu dengan XRF

Kandungan	Kadar (%)
SiO ₂	73,5
CaO	8,82
Fe ₂ O ₃	5,48
K ₂ O	4,9
P ₂ O ₅	2,6
SO ₃	2
MoO ₃	1,6
MnO	0,31
TiO ₂	0,21
SrO	0,16
CuO	0,1
Re ₂ O ₇	0,1
Eu ₂ O ₃	0,09
ZnO	0,074
BaO	0,05
Cr ₂ O ₃	0,034
V ₂ O ₅	0,008

Menurut Tjokrodiluljo (2007), Komposisi kimia semen *portland* pada umumnya terdiri dari kapur (CaO), silikat (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan oksida besi (Fe₂O₃), yang merupakan oksida dominan, sedangkan oksida lainnya yang terkandung dalam semen yaitu MgO, SO₃, Na₂O, dan K₂O. Berdasarkan Tabel 2 AAT juga

memiliki unsur dominan yang mirip dengan komposisi kimia semen yaitu unsur kapur (CaO), silikat (SiO₂), dan oksida besi (Fe₂O₃). Menurut SNI-03-2834-2000, semen *portland-pozzolan* ialah campuran *portland* dengan *pozzolan* antara 15% - 40% berat total campuran serta kandungan unsur SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ dalam *pozzolan* paling sedikit yaitu 70% dan SO₃ maksimum sebesar 4%. Dari hasil uji kandungan AAT pada tabel 2 bahwa AAT memiliki kandungan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ sebesar 87,8% dan SO₃ sebesar 2%. Hasil tersebut hampir sama dengan hasil penelitian Karimah dan Wahyudi, (2016) bahwa abu ampas tebu memiliki kandungan kandungan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ sebesar 88,37%. hal ini membuktikan bahwa AAT dapat digunakan sebagai bahan tambahan semen.

Hasil uji berat jenis dari AAT yaitu 1,47 gram/cm³. Dimana hasil tersebut lebih rendah dari berat jenis semen yang telah kita uji sebelumnya yaitu 2,941 gram/cm³.

c. Uji pasir Lumajang dan *bottom ash*

Pengujian pada pasir Lumajang dilakukan bersama tim. Uji pasir Lumajang dan *bottom ash* antara lain uji kandungan kimia, penyerapan air dan berat jenis, analisa ayakan, kadar lumpur, dan kadar organis disajikan dalam Tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 3. Kandungan Kimia Pasir dengan XRF

Unsur	Kadar (%)
Fe	31,9
Si	30,8
Ca	19,7
Al	11
K	2,08
Ti	1,79
Sr	0,72
Mn	0,57
Eu	0,55
Re	0,37
Cu	0,15

Ba	0,1
V	0,083
Cr	0,059

Tabel 4. Kandungan Kimia *Bottom Ash* dengan XRF

Unsur	Kadar (%)
Fe	32,8
Si	24,5
Mo	13
Al	10
Ca	7,6
Si	4,2
K	3,8
Ti	2,37
Re	0,4
Mn	0,32
Cu	0,27
Cr	0,12
V	0,11
Ni	0,1
Yb	0,08

Dari hasil uji kandungan yang telah dilakukan diketahui bahwa unsur yang paling dominan dari *bottom ash* yaitu Fe dan Si dengan dengan kadar nilai 32,8% dan 24,5%. Hasil uji kandungan tersebut hampir sama dengan hasil uji kandungan dari pasir yang terdapat dalam Tabel 4. Pada tabel uji tersebut diperoleh hasil bahwa pasir memiliki kandungan unsur kimia yang dominan yaitu Fe dan Si dengan kadar nilai saebesar 31,9% dan 30,8%. Hal ini membuktikan bahwa antara *bottom ash* dan pasir memiliki dasar kandungan kimia yang sama.

Tabel 5. Hasil Uji Pasir dan *Bottom Ash*

No	Uraian	Bottom Ash	Pasir
1	Berat Jenis	1,45 gram/cm ³	2,5 gram/cm ³
2	Penyerapan	28%	1,6 %
3	Analisa Ayakan	Zona 2	Zona 2
4	Kadar Lumpur	9,6 %	1.215%
5	Kotoran Organik	Keruh	Bening

Berdasarkan hasil uji berat jenis pasir lumajang sebesar 2,5 gram/cm³, sedangkan *bottom ash* memiliki berat jenis sebesar 1,45 gram/cm³. Menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat dengan berat jenis kurang dari 2 gram/cm³ termasuk dalam agregat ringan dan biasanya digunakan untuk bagian non struktural, sehingga material *bottom ash* termasuk dalam kategori agregat ringan karena berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³ yaitu 1,45 gram/cm³, sedangkan pasir lumajang masuk kategori agregat normal karena berat jenisnya antara 2,5 - 2,7 gram/cm³. Untuk nilai penyerapan dari *bottom ash* lebih tinggi daripada pasir. Dimana nilai penyerapan dari *bottom ash* sebesar 28% dan pasir memiliki nilai penyerapan 1,6%. Hal ini disebabkan karena karakteristik dari *bottom ash* yang berporos sehingga banyak menyerap air.

Berdasarkan hasil uji pasir lumajang memiliki kadar lumpur sebesar 1,215% dan *bottom ash* memiliki kadar lumpur sebesar 9,6%. Dalam persyaratan agregat halus menurut ASTM C.33 dalam Tjokrodinuljo (2007) untuk kadar lumpur maksimum sebesar 5%. Dalam hal ini *bottom ash* tidak memenuhi sebagai agregat halus yang baik, karena nilai dari kadar lumpur lebih dari 5% yaitu 9,6%, sehingga penggunaan *bottom ash* dalam penelitian ini dicuci dahulu untuk mengurangi kadar lumpur yang berlebihan. Menurut Darwis, dkk, (2015) penggunaan *bottom ash* sebagai agregat halus harus dicuci dahulu untuk menghilangkan kotoran-kotoran organik dan mengurangi kadar karbon.

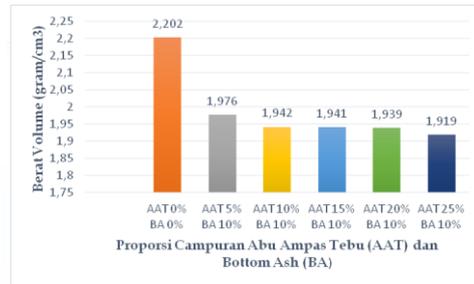
Hasil pengujian kotoran organis pasir Lumajang menghasilkan warna lebih bening dari pada warna standar, sedangkan *bottom ash* menghasilkan warna yang lebih gelap dari warna standar. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa material *bottom ash*

memiliki zat organik yang tinggi. Kadar zat organik yang tinggi pada *bottom ash* disebabkan adanya arang lignit pada material *bottom ash*.

2. Pengujian paving block

Hasil dari pengujian *paving block* antara lain sebagai berikut:

a. Uji berat volume

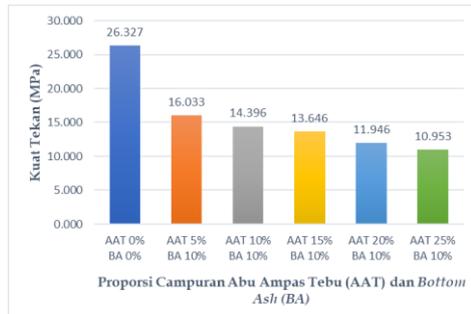


Gambar 1. Diagram Berat Volume

Berdasarkan Gambar 1 di atas dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan *bottom ash* dan abu ampas tebu berat volume *paving block* mengalami penurunan. Berat volume *paving block* tanpa campuran *bottom ash* dan abu ampas tebu (campuran normal) diperoleh nilai 2,202 gram/cm³, sedangkan dengan penambahan *bottom ash* 10% dan abu ampas tebu dengan variasi abu ampas tebu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% memiliki nilai berat volume *paving block* berturut-turut yaitu 1,976 gram/cm³, 1,942 gram/cm³, 1,941 gram/cm³, 1,939 gram/cm³, dan 1,919 gram/cm³. Nilai berat volume *paving block* mengalami penurunan dari berat volume normal berturut-turut yaitu 10,26%, 11,81%, 11,85%, 11,94%, dan 12,85%.

Sesuai dengan hasil di atas menunjukkan bahwa Penurunan berat volume *paving block* pada setiap penambahan *bottom ash* 10% dan variasi abu ampas tebu diakibatkan karena *bottom ash* dan abu ampas tebu memiliki berat jenis yang rendah. Semakin banyak penggunaan variasi abu ampas tebu membuat berat volume *paving block* semakin ringan.

b. Uji kuat tekan



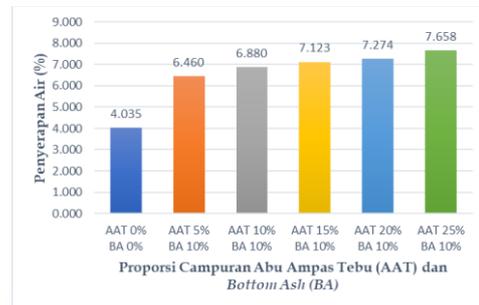
Gambar 2. Diagram Kuat Tekan

Berdasarkan Gambar 2 diatas dapat dilihat bahwa adanya penambahan variasi abu ampas tebu dan 10 % *bottom ash* berpengaruh terhadap nilai kuat tekan. Kuat tekan *paving block* tanpa campuran *bottom ash* dan abu ampas tebu (campuran normal) diperoleh nilai 26,327 MPa, sedangkan dengan penambahan *bottom ash* 10% dan variasi abu ampas tebu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% memiliki nilai kuat tekan *paving block* berturut-turut yaitu 16,033 MPa, 14,396 MPa, 13,646 MPa, 11,946 MPa, dan 10,953 MPa. Nilai kuat tekan *paving block* mengalami penurunan dengan adanya variasi AAT. Hasil tersebut hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Sati, dkk (2018) pengaruh penggunaan AAT sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan mortar yaitu nilai kuat tekan mortar variasi AAT 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% mengalami penurunan dari nilai kuat tekan mortar normal. Terdapat perbedaan terhadap penelitian Jawara, dkk (2018) penambahan AAT sebagai pengganti sebagian semen sebanyak 5% dan 10% mengalami peningkatan nilai kuat tekan dari nilai kuat tekan *paving block* normal.

Hasil rata-rata nilai kuat tekan dapat ditentukan klasifikasi mutu *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996. Hasil nilai kuat tekan rata-rata pada campuran normal dikategorikan dalam mutu kelas B. Pada variasi abu ampas tebu 5%, 10%, 15% serta tambahan 10% *bottom ash* dikategorikan

dalam mutu kelas C, sedangkan pada variasi abu ampas tebu 20% dan 25% serta tambahan 10% *bottom ash* dikategorikan dalam mutu kelas D.

c. Uji penyerapan air



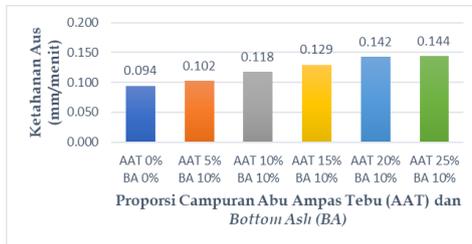
Gambar 3. Diagram Uji Penyerapan Air

Berdasarkan Gambar 3 diatas dapat dilihat bahwa nilai rata-rata penyerapan air dengan substitusi variasi abu ampas tebu dan 10% *bottom ash* lebih tinggi dibandingkan dengan campuran normal. Pada campuran normal diperoleh nilai rata-rata penyerapan air yaitu 4,035%, sedangkan dengan campuran variasi abu ampas tebu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% sebagai substitusi semen dan 10% *bottom ash* sebagai substitusi pasir diperoleh nilai rata-rata penyerapan air berturut-turut yaitu 6,460%, 6,880%, 7,123%, 7,274%, dan 7,658%. Nilai rata-rata penyerapan air semakin tinggi seiring banyaknya substitusi abu ampas tebu dan tambahan 10% *bottom ash*. Hasil tersebut berbeda dengan penelitian Jawara, dkk (2018) penambahan AAT sebagai pengganti sebagian semen sebanyak 5% dan 10% mengalami penurunan penyerapan air dari nilai penyerapan air *paving block* normal.

Hasil nilai rata-rata penyerapan air dapat ditentukan klasifikasi mutu *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996. Hasil nilai rata-rata penyerapan air pada campuran normal dikategorikan dalam mutu kelas B karena *paving block* memiliki nilai penyerapan lebih besar dari 3% dan kurang dari 6%, sedangkan mutu *paving block* pada

campuran dengan variasi abu ampas tebu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% serta penambahan 10% *bottom ash* masuk dalam klasifikasi mutu *paving block* C karena memiliki nilai penyerapan air lebih besar dari 6% dan kurang dari 8%.

d. Uji Ketahanan aus



Gambar 4. Diagram Uji Ketahanan Aus

Berdasarkan gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa rata-rata nilai ketahanan aus *paving block* dengan campuran variasi abu ampas tebu dan tambahan 10% *bottom ash* memiliki nilai ketahanan aus lebih besar dibandingkan dengan campuran normal. Pada campuran normal diperoleh ketahanan aus *paving block* yaitu 0,094 mm/menit, sedangkan dengan campuran variasi abu ampas tebu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% sebagai substitusi semen dan 10% *bottom ash* sebagai substitusi pasir diperoleh nilai rata-rata ketahanan aus berturut-turut ialah 0,102 mm/menit, 0,118 mm/menit, 0,129 mm/menit, 0,142 mm/menit, 0,144 mm/menit. Semakin banyak variasi abu ampas tebu yang digunakan, semakin besar nilai ketahanan aus *paving block*.

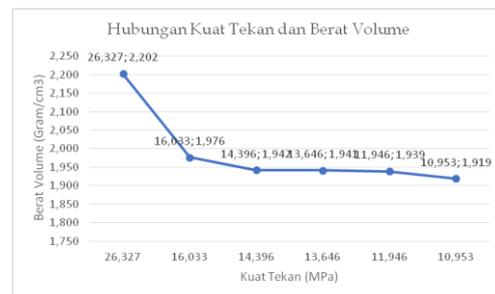
Dari hasil nilai rata-rata ketahanan aus dapat ditentukan mutu dari *paving block* sesuai SNI 03-0691-1996. Campuran normal dan campuran 5% abu ampas tebu dengan tambahan 10% *bottom ash* masuk klasifikasi mutu A. Dikatakan masuk kedalam klasifikasi mutu A karena *paving block* memiliki nilai rata-rata ketahanan aus 0,090 mm/menit atau minimal 0,103 mm/menit, sedangkan pada campuran 10%, 15%, 20%, dan 25% abu ampas tebu dengan tambahan

10% *bottom ash* masuk klasifikasi mutu B. Dikatakan masuk kedalam mutu B karena *paving block* memiliki nilai rata-rata ketahanan aus 0,130 mm/menit atau minimal 0,149 mm/menit.

Pembahasan

1. Analisis Hubungan Berat Volume dan Kuat Tekan

Berdasarkan hasil uji berat volume dan kuat tekan *paving block* keduanya memiliki hubungan bahwa semakin rendah nilai kuat tekan maka semakin rendah juga nilai berat volume dari *paving block*. Pada variasi 6 atau penggunaan abu ampas tebu sebesar 25% sebagai substitusi semen dengan tambahan 10% *bottom ash* sebagai substitusi pasir memiliki nilai kuat tekan dan berat volume terendah yaitu sebesar 10,953 MPa dan 1,919 gram/cm³. Nilai berat volume yang rendah disebabkan karena pengikatan antar material *paving block* yang lemah sehingga struktur *paving block* menjadi kurang padat dan dan menimbulkan banyak rongga. Struktur *paving block* yang kurang padat dan banyak rongga apabila dikenai beban tekan akan mudah hancur sehingga menyebabkan nilai kuat tekan menjadi rendah. Menurut Laila (2018) keterkaitan antara berat volume dan kuat tekan disebabkan karena *paving block* dengan kuat tekan yang rendah memiliki rongga yang besar didalamnya. Untuk lebih jelasnya hubungan berat volume dan kuat tekan disajikan dalam Gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Berat Volume

2. Analisis Hubungan Penyerapan Air dan Berat Volume

Berdasarkan hasil uji penyerapan air dan berat volume *paving block* keduanya memiliki hubungan bahwa semakin rendah nilai berat volume maka nilai penyerapan air semakin tinggi. Pada variasi 6 atau penggunaan abu ampas tebu sebesar 25% sebagai substitusi semen dengan tambahan 10% *bottom ash* sebagai substitusi pasir memiliki nilai berat volume terendah dengan nilai sebesar 1,919 gram/cm³, sedangkan nilai penyerapan air tertinggi sebesar 7,658%. Berat volume yang rendah disebabkan karena struktur *paving block* yang kurang padat dan rapat serta memiliki banyak rongga, sehingga penyerapan air menjadi tinggi. Menurut Akbar (2018), abu ampas tebu memiliki kandungan silika yang besar serta bersifat mudah menyerap air. Selain itu *bottom ash* memiliki karakteristik berporos, sehingga mudah dalam menyerap air (Laila, 2018). Untuk lebih jelasnya hubungan berat volume dan penyerapan air disajikan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Penyerapan Air dan Berat Volume

3. Analisis Hubungan Ketahanan Aus dan Berat Volume

Berdasarkan hasil uji ketahanan aus dan berat volume keduanya memiliki hubungan bahwa semakin rendah nilai berat volume maka nilai ketahanan ausnya semakin besar. Pada variasi 6 memiliki nilai berat volume terendah dengan nilai sebesar 1,919 gram/cm³ sedangkan nilai ketahanan aus tertinggi sebesar 0,144 mm/menit. Faktor yang mendasari hal tersebut adalah semakin banyak tambahan variasi abu

ampas tebu sebagai substitusi semen dan 10% *bottom ash* sebagai substitusi pasir membuat struktur *paving block* memiliki daya rekat antar material menjadi lemah. Daya rekat pada campuran *paving block* yang lemah menyebabkan struktur *paving block* menjadi kurang padat dan rapat serta menimbulkan banyak rongga, sehingga pada permukaan *paving block* akan mudah terkikis apabila terjadi gesekan yang menyebabkan nilai ketahanan aus dari *paving block* menjadi besar. Keausan yang besar menandakan bahwa banyaknya kehilangan butiran-butiran akibat adanya gesekan (Laila, 2018). Untuk lebih jelasnya hubungan berat volume dan ketahanan aus disajikan dalam Gambar 7.

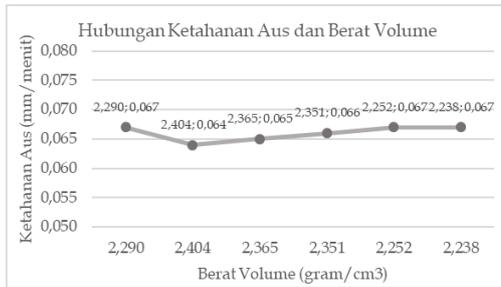


Gambar 7. Grafik Hubungan Ketahanan Aus dan Berat Volume

4. Analisis Hubungan Kuat Tekan dan Penyerapan Air

Berdasarkan hasil uji kuat tekan dan penyerapan air keduanya memiliki hubungan bahwa semakin rendah nilai kuat tekan maka nilai penyerapan air semakin tinggi. Pada variasi 6 memiliki nilai kuat tekan terendah dengan nilai sebesar 10,953 MPa sedangkan nilai penyerapan air tertinggi sebesar 7,658%. Penyerapan air yang tinggi menandakan bahwa penggunaan abu ampas tebu dan *bottom ash* menyebabkan daya pengikatan dan kerapatan dari struktur *paving block* menjadi lemah yang menimbulkan banyak rongga atau pori-pori sehingga apabila struktur *Paving block* terkena gaya tekan akan mudah hancur yang menyebabkan nilai kuat tekan menjadi rendah (Laila, 2018). Untuk lebih

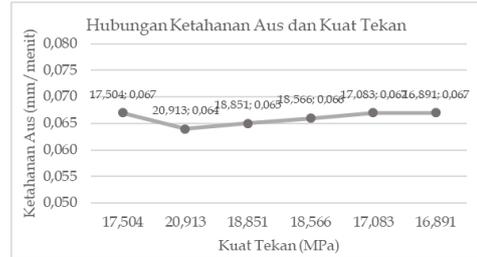
jelasan hubungan kuat tekan dan penyerapan air *paving block* disajikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Penyerapan Air

5. Analisis Hubungan Kuat Tekan dan Ketahanan Aus

Berdasarkan hasil uji kuat tekan dan ketahanan aus keduanya memiliki hubungan bahwa semakin besar nilai ketahanan aus maka nilai kuat tekan akan semakin kecil. Pada variasi 6 memiliki nilai kuat tekan terendah dengan nilai sebesar 10,953 MPa sedangkan nilai ketahanan aus tertinggi sebesar 0,144 mm/menit. Menurut Laila (2018) kerapatan dan kepadatan sangat berpengaruh pada nilai kuat tekan dan keausan. Struktur *paving block* yang padat dan rapat dapat menahan beban yang tinggi serta tidak banyak kehilangan butiran apabila terjadi gesekan. Nilai ketahanan aus yang besar timbul karena permukaan dari *paving block* banyak kehilangan butiran-butiran akibat dari gesakan. Hal tersebut dikarenakan struktur dari *paving block* yang kurang padat dan daya rekat antar material lemah. Apabila struktur dari *paving block* kurang padat dan daya rekat antar material lemah maka *paving block* tersebut akan mudah hancur apabila terkena beban tekan, sehingga nilai kuat tekan *paving block* akan menjadi kecil. Untuk lebih jelasnya hubungan kuat tekan dan ketahanan aus *paving block* disajikan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hubungan Ketahanan Aus dan Kuat Tekan

6. Analisis Hubungan Ketahanan Aus dan Penyerapan Air

berikut: Berdasarkan hasil uji penyerapan air dan ketahanan aus keduanya memiliki hubungan bahwa semakin besar nilai ketahanan aus maka nilai penyerapan air akan semakin besar. Pada variasi 6 memiliki nilai ketahanan aus terbesar dengan nilai sebesar 0,144 mm/menit sedangkan nilai penyerapan air tertinggi sebesar 7,658%. Nilai ketahanan aus yang besar disebabkan karena struktur dari *paving block* yang kurang padat dan memiliki daya rekat yang lemah. Hal tersebut akan menimbulkan banyak rongga pada struktur *paving block* sehingga air yang diserap oleh *paving block* semakin banyak yang menyebabkan nilai penyerapan air menjadi tinggi. Hubungan antara penyerapan air dan ketahanan aus disebabkan *paving block* dengan nilai porositas yang tinggi memiliki rongga yang besar didalamnya (Laila, 2018). Untuk lebih jelasnya hubungan penyerapan air dan ketahanan aus *paving block* disajikan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Ketahanan Aus dan Penyerapan Air

PENUTUP

Kesimpulan

Penggunaan variasi abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen dan 10% *bottom ash* sebagai bahan substitusi pasir memiliki pengaruh pada karakteristik mutu *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996. Dari uji kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus menunjukkan bahwa penggunaan variasi abu ampas tebu dan 10 *bottom ash* menyebabkan mutu *paving block* menurun dibandingkan dengan mutu *paving block* pada campuran normal. Pada campuran 5% abu ampas tebu menunjukkan hasil nilai kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus lebih baik daripada campuran abu ampas tebu 10%, 15%, 20%, dan 25% tetapi masih dibawah nilai campuran normal. Pada campuran 5% abu ampas tebu terjadi penurunan nilai kuat tekan dari campuran normal yaitu 39,1% dengan nilai kuat tekan sebesar 16,033 MPa. Hasil nilai kuat tekan tersebut dikategorikan dalam mutu kelas C. Ditinjau dari uji penyerapan air terjadi peningkatan dari campuran normal yaitu sebesar 60,1% dengan nilai penyerapan air sebesar 6,46%. Hasil uji penyerapan tersebut masuk dalam klasifikasi mutu C Sedangkan nilai ketahanan aus mengalami peningkatan dari campuran normal sebesar 8,5% dengan nilai ketahanan aus sebesar 0,102 mm/menit. Hasil nilai ketahanan aus tersebut dikategorikan dalam mutu kelas A.

Saran

1. Variasi abu ampas tebu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Untuk mengetahui penggunaan optimal dari abu ampas tebu sebagai bahan tambahan semen, sebaiknya mencoba penelitian dengan rentang variasi yang lebih kecil, misalnya dengan variasi abu ampas tebu 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%.
2. Dalam penelitian ini menggunakan campuran *bottom ash* sebanyak 10% sebagai substitusi pasir, untuk penelitian selanjutnya dapat mengganti material *bottom ash* dengan material lain yang dapat meningkatkan kualitas *paving block*, seperti *copper slag* atau material lainnya.
3. FAS yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 20% dari berat semen, untuk penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan lagi

penggunaan FAS karena sifat abu ampas tebu yang banyak menyerap air.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Moch. Ilham. 2018. *Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu sebagai Material Pengganti Semen pada Campuran Beton Self Compacting Concrete (SCC) terhadap Kuat Tekan dan Porositas Beton. Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 1 (1): hal. 216-224.
- Badan Standardisasi Nasional. 1987. *Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0028-1987) Ubin Semen Polos*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1996. *Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0691-1996) Bata Beton (Paving Block)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta.
- Darwis, Z., dkk. 2015. *Pemanfaatan Limbah Bottom Ash sebagai Substitusi Agregat Halus dalam Pembuatan Beton. Jurnal Fondasi*. Vol. 4 (1): hal. 52-57.
- Jawara, K.T., dkk. 2018. *Abu Ampas Tebu Pengurang Semen dalam Paving. Jurnal Pilar Teknologi*. Vol. 3 (2): hal. 32-36.
- Karimah, Rofikotul dan Wahyudi, Yusuf. 2016. *Pemakaian Abu Ampas Tebu dengan Variasi Suhu sebagai Substitusi Parsial Semen dalam Campuran Beton. Media Teknik Sipil*. Vol. 13(2): hal. 167-173.
- Laila, Fitria. 2018. *Pengaruh Penggunaan Bottom Ash sebagai Substitusi Sebagian Pasir pada Paving Block. Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 1 (01): hal. 118-122.
- Rompas, G.P., dkk. 2013. *Pengaruh Pemanfaatan Abu Ampas Tebu sebagai Substitusi Parsial Semen dalam Campuran Beton Ditinjau terhadap Kuat Tarik Lentur dan Kuat tekan. Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1 (2). hal. 82-89.
- Sati, A.R., dkk. 2019. *Pengaruh Variasi Penggunaan Abu Ampas Tebu (AAT) dan Abu Batu (AB) sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Mortar. INERSIA Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 11 (1): hal. 13-18.
- Tjokrodiluljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.