

# PENGARUH KUAT TEKAN, PENYERAPAN AIR, DAN KETAHANAN AUS PENGGUNAAN FLY ASH SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN PADA CAMPURAN PAVING BLOCK DENGAN 50% COPPER SLAG TERHADAP PASIR

**Agam Adi Pranata**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [agampranata@mhs.unesa.ac.id](mailto:agampranata@mhs.unesa.ac.id)

**Muhammad Imaduddin**

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [muhammadimaduddin@unesa.ac.id](mailto:muhammadimaduddin@unesa.ac.id)

## Abstrak

Hasil limbah industri berupa *fly ash* dan *copper slag* perlu dikelola secara baik agar tidak menyebabkan pengaruh buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu diperlukan inovasi bahan alternatif pada pembuatan *paving block* dimana *fly ash* digunakan pengganti sebagian semen dan *copper slag* pengganti sebagian pasir diharapkan dapat berpengaruh terhadap kualitas, efisiensi dalam pengerjaan serta ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan persentase yang tepat penggunaan *fly ash* pengganti sebagian semen pada komposisi campuran *paving block* dengan 50% *copper slag* terhadap uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus berdasarkan SNI 03-0691-1996. Penelitian ini menggunakan variasi *fly ash* sebesar 0%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, dan 15% terhadap berat semen dan 50% *copper slag* terhadap berat pasir. Pengujian benda uji *paving block* dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh penggunaan *fly ash* terhadap *paving block* bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus. Hasil dari ketiga pengujian pada variasi 2 dengan penggunaan substitusi *fly ash* sebesar 5% terjadi peningkatan namun penggunaan substitusi *fly ash* lebih dari 5% terjadi penurunan. Penggunaan substitusi *fly ash* 5%, 7.5%, dan 10% masih berada di atas hasil nilai kontrol *fly ash* 0%. Sedangkan hasil nilai substitusi *fly ash* lebih dari 10% di bawah nilai kontrol *fly ash* 0%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase optimum terjadi pada variasi 2 atau substitusi *fly ash* 5% dengan nilai uji kuat tekan sebesar 20.913 MPa, uji penyerapan air sebesar 6.004%, dan uji ketahanan aus sebesar 0.064 mm/menit.

**Kata kunci:** *Fly ash*, *copper slag*, kuat tekan, *paving block*

## Abstract

*The results of industrial waste in the form of fly ash and copper slag need to be managed properly so as not to cause adverse effects on the environment. Therefore, it is necessary to innovate alternative materials in the manufacture of paving blocks where fly ash is used to replace part of cement and copper slag part of sand is expected to have an effect on quality, efficiency in workmanship and the economy. This study aims to determine the effect and appropriate percentage of the use of fly ash as a partial cement replacement on the composition of the paving block mixture with 50% copper slag on the compressive strength test, water absorption test, and wear resistance test based on SNI 03-0691-1996. This study used variations in fly ash of 0%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, and 15% of the weight cement and 50% copper slag to the weight of sand. Testing of paving block specimens was carried out at the age of 28 days. The results showed that there was an effect of using fly ash on paving blocks that there was an increase and decrease in the value of the compressive strength test, water absorption test, and wear resistance test. The results of the three tests in variation 2 with the use of fly ash substitution of 5% increased, but the use of fly ash substitution of more than 5% decreased. The use of fly ash substitution of 5%, 7.5%, and 10% is still above the result of the fly ash control value of 0%. While the results of the fly ash substitution value are more than 10% below the fly ash control value of 0%. The results showed that the optimum percentage occurred in variation 2 or 5% fly ash substitution with a compressive strength test value of 20.913 MPa, a water absorption test of 6.004%, and a wear resistance test of 0.064 mm/min.*

**Keywords:** *Fly ash*, *copper slag*, compressive strength, *paving block*

## PENDAHULUAN

Inovasi bahan alternatif telah dilakukan di bidang konstruksi, mulai dari bahan alternatif pembuatan beton hingga perkerasan jalan. Bahan perkerasan jalan yang sering digunakan yaitu *paving block*. Beberapa keunggulan *paving block* diantaranya

kemudahan mendapatkan, pengerjaan serta pemeliharaan menjadikan *paving block* sebagai pilihan alternatif untuk perkerasan jalan. Peningkatan kebutuhan bahan pembuatan *paving block* yaitu semen dan pasir menyebabkan ketersediaan bahan semen dan pasir semakin berkurang. Maka perlu

dilakukan alternatif yaitu dengan memanfaatkan limbah yang ada di lingkungan.

Kabupaten Gresik terdapat pabrik pengolahan biji tembaga yang dikelola oleh PT Smelting pada proses pengolahannya menghasilkan limbah berupa *copper slag*. Karakteristik *copper slag* dengan tekstur permukaan yang tajam dan bersudut, bentuk agak pipih berwarna kehitaman, kandungan kimia yang dominan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{FeO}_2$  (Soandrijanie, 2011). Beberapa kandungan kimia yang terdapat pada *copper slag* diantaranya Fe, Si, Ca, Pb, K, Cu, Zn, Ni, Rb, Ti, Mn, Cr, Os, S, dan V (Wahyuningtyas, 2017). Kandungan kimia antara *copper slag* dengan pasir Lumajang memiliki kesamaan dimana keduanya memiliki unsur Fe yang dominan (Kurniawati, 2017).

Hasil limbah tembaga *copper slag* yang dihasilkan oleh PT. Smelting sebesar 655,00 ton/tahun (Rengganis, 2017). Hasil limbah dengan kapasitas berlimpah tersebut perlu dimaksimalkan sebagai campuran komposisi *paving block*. Berdasarkan penelitian sebelumnya, Kurniawati (2017) menyimpulkan bahwa penggunaan substitusi *copper slag* terhadap pasir pada campuran *paving block* mengalami peningkatan hasil uji kuat tekan, penurunan hasil uji penyerapan air dan uji ketahanan aus. Hasil ketiga pengujian didapatkan penggunaan substitusi *copper slag* optimum sebesar 50% terhadap pasir.

*Fly ash* atau abu terbang merupakan limbah dari pabrik dan PLTU yang dihasilkan melalui proses pembakaran batu bara (Klarens dkk., 2016). Kandungan kimia yang utama dari *fly ash* antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe O}_2\text{O}_3$ ), kalsium ( $\text{CaO}$ ) serta beberapa unsur dengan persentase sedikit antara lain magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang (Setiawati, 2018). *Fly ash* adalah bahan dengan karakteristik butirannya halus dan mengandung oksida silika dapat membentuk zat dengan sifat mengikat seperti semen disebabkan oleh reaksi kimia oksida silika dengan kalsium hidroksida (Kurniasari, 2017).

PT. Tjiwi Kimia, Mojokerto merupakan perusahaan pabrik kertas yang menghasilkan limbah

berupa *fly ash* dari hasil pembakaran batu bara. Limbah padat ini memerlukan pengelolaan secara optimal agar tidak menimbulkan masalah lingkungan. Salah satu cara untuk mencegah dampak tersebut ialah dengan memanfaatkan sebagai campuran dalam material beton. *Fly ash* yang dihasilkan dari pabrik kertas PT. Tjiwi Kimia dapat digunakan sebagai campuran *paving block* dengan penggunaan *fly ash* sebesar 10%-15% dari total berat semen mampu meningkatkan kuat tekan *paving block* (Qomaruddin dkk., 2018)

Perbedaan penelitian sebelumnya atau orang lain dengan penelitian ini ialah pemanfaatan limbah hasil industri berupa *copper slag* dan *fly ash* sebagai bahan alternatif pada komposisi campuran *paving block* dimana *fly ash* digunakan sebagai substitusi semen dan *copper slag* sebagai substitusi pasir. Penggunaan *fly ash* dan *copper slag* dapat membantu dalam menghemat penggunaan bahan baku semen dan pasir pada pembuatan *paving block*, mengatasi dampak negatif limbah industri terhadap lingkungan serta dapat meningkatkan kualitas mutu *paving block*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan persentase yang tepat penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen pada komposisi campuran *paving block* dengan 50% *copper slag* terhadap uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus berdasarkan SNI 03-0691-1996.

## METODE

### Jenis dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan ialah jenis penelitian kuantitatif, dimana uraian penelitian dilakukan secara sistematis, terencana dan terstruktur dari proses awal hingga akhir penelitian. Hasil penelitian kuantitatif yaitu berupa angka dimana prosesnya mulai dari proses pengumpulan data, analisis data hingga hasil akhir berupa penampilan data dengan tabel, gambar, grafik atau tampilan lainnya.

Metode penelitian menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen dalam penelitian ini yaitu untuk mencari pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen pada komposisi

campuran *paving block* dengan 50% *copper slag* pada uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus berdasarkan SNI 03-0691-1996.

Beberapa tahapan dalam penelitian ini yaitu persiapan alat dan bahan, perencanaan komposisi campuran, pembuatan *paving block*, perawatan *paving block*, pengujian *paving block*, pengumpulan data, analisis data serta kesimpulan dan saran.

Bahan yang digunakan meliputi semen, air, pasir Lumajang, *copper slag*, dan *fly ash*. Semen diperoleh dari PT. SCG Readymix Indonesia, Surabaya. *Copper slag* yang digunakan dari PT. Smelting, Gresik diperoleh dari PT. SCG Readymix Indonesia, Surabaya. Sedangkan *fly ash* diperoleh dari PT. Tjiwi Kimia, Mojokerto.

Pengujian bahan meliputi uji kandungan kimia, uji semen, *fly ash*, pasir dan *copper slag*. Pengujian kandungan kimia antara lain: pasir Lumajang, *copper slag*, dan *fly ash*. Uji kandungan kimia menggunakan XRF di Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang. Pengujian semen dan *fly ash* antara lain: berat jenis dan berat volume. Sedangkan pengujian pasir dan *copper slag* antara lain: berat jenis dan penyerapan air, analisa ayakan, berat per volume, kotoran organis, dan kadar lumpur. Pengujian semen, *fly ash*, *copper slag*, dan pasir Lumajang dilaksanakan di Laboratorium Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

Perencanaan campuran (*mix design*) menggunakan komposisi campuran *paving block* dengan perbandingan 1 semen:3 pasir. Dimensi *paving block* berukuran 21 cm x 10,5 cm x 6 cm. Penelitian menggunakan 6 variasi campuran dengan masing-masing variasi menggunakan substitusi *fly ash* terhadap berat semen sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% dan substitusi *copper slag* sebesar 50% terhadap berat pasir.

Pembuatan benda uji dilaksanakan di UD. Banuwa Bangun, Surabaya menggunakan mesin pencetak *paving block* hidrolik. Setelah dilakukan proses membuat cetakan *paving block* kemudian diletakkan pada tempat penyimpanan dan didiamkan

selama 24 jam selanjutnya disiram dua kali sehari sampai umur benda uji 28 hari.

Pengujian benda uji meliputi uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus. Uji kuat tekan dan uji penyerapan air dilakukan berdasarkan SNI 03-0691-1996. Sedangkan uji ketahanan aus dilakukan berdasarkan SNI 03-0028-1987.

### Populasi dan Sampel

Populasi yang diteliti adalah *paving block* dengan substitusi *fly ash* terhadap semen pada komposisi campuran *paving block* dengan 50% *copper slag*. Sampel penelitian adalah *paving block* berbentuk persegi panjang dengan ukuran 21 cm x 10,5 cm x 6 cm. Populasi dan sampel disajikan pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Populasi dan Sampel Penelitian

Variasi <i>Fly Ash</i>	Komposisi	Pengujian			Jumlah Benda Uji
		Kuat Tekan	Keausan	Penyerapan Air	
FA 0%	1 PC : 0 FA : 1,5 PS : 1,5 CS	3	3	3	9
FA 5%	0,95 PC : 0,05 FA : 1,5 PS : 1,5 CS	3	3	3	9
FA 7,5%	0,925 PC : 0,075 FA : 1,5 PS : 1,5 CS	3	3	3	9
FA 10%	0,90 PC : 0,10 FA : 1,5 PS : 1,5 CS	3	3	3	9
FA 12,5%	0,875 PC : 0,125 FA : 1,5 PS : 1,5 CS	3	3	3	9
FA 15%	0,85 PC : 0,15 FA : 1,5 PS : 1,5 CS	3	3	3	9
Total Benda Uji					54

Keterangan:

PC= Semen portland

PS= Pasir

FA= *Fly ash*

CS= *Copper slag*

### Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data melalui metode observasi. Pengumpulan data yang digunakan yaitu eksperimen terhadap karakteristik bahan dan karakteristik *paving block*.

Karakteristik bahan meliputi kandungan kimia, berat jenis, penyerapan air, berat volume, analisa ayakan, kadar lumpur, kotoran organis. Karakteristik *paving block* berdasarkan SNI 03-0028-1987 meliputi antara lain uji kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus. Uji kuat tekan dan penyerapan air mengacu pada SNI 03-0691-1996 tentang bata beton *paving block* sedangkan uji ketahanan aus mengacu pada SNI 03-0028-1987 tentang ubin semen polos.

### Teknik Analisis Data

Teknik analisis data adalah deskriptif kuantitatif. Penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif bertujuan untuk menjelaskan atau mendeskripsikan peristiwa atau suatu kejadian yang terjadi berdasarkan hasil dari penelitian. Data hasil penelitian dibuat dalam bentuk tabel dan grafik serta dijelaskan informasi hasil tabel dan grafik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

#### 1. Pengujian karakteristik bahan

##### a. Uji kandungan kimia

Data hasil pengujian kandungan kimia XRF *copper slag* digunakan bersama tim yang beranggotakan penulis dan Moh. Ainur Rokhman. Hasil uji kandungan kimia *copper slag* disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Kandungan *Copper Slag* dengan XRF

Unsur	Kadar (%)	Oksida	Kadar (%)
Fe	73,72	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	67,44
Si	10,40	SiO <sub>2</sub>	16,60
Ca	4,28	CaO	4,23
Al	2,30	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,00
Mo	2,50	MoO <sub>3</sub>	2,80
Pb	1,50	PbO	0,95
Cu	1,41	CuO	1,08
Zn	1,29	ZnO	0,983
K	0,78	K <sub>2</sub> O	0,67
Rb	0,39	Rb <sub>2</sub> O	0,26

Br	0,28	Br	0,17
Ti	0,25	TiO <sub>2</sub>	0,30
P	0,20	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30
Mn	0,14	MnO	0,12
Cr	0,11	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11
V	0,02	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan unsur kimia dalam *copper slag* yang dominan adalah unsur besi (Fe) sebesar 73,72. Hal ini sebanding dengan Soandrijanie (2011) yang menyatakan bahwa komposisi kandungan kimia yang terbesar dari *copper slag* yaitu SiO<sub>2</sub> dan FeO. Kandungan unsur kimia yang dominan terdapat pada *copper slag* hampir sama dengan kandungan unsur kimia yang terdapat dalam pasir Lumajang seperti yang terdapat dalam Tabel 3. Data hasil pengujian XRF pasir Lumajang digunakan bersama tim yang beranggotakan penulis, Bachrul Ulum, Moh. Ainur Rokhman, dan Yollanda Mardany.

Tabel 3. Kandungan Pasir Lumajang dengan XRF

Unsur	Kadar (%)	Oksida	Kadar (%)
Fe	31,90	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,30
Si	30,80	SiO <sub>2</sub>	43,10
Ca	19,70	CaO	15,50
Al	11,00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,00
K	2,08	K <sub>2</sub> O	1,45
Ti	1,79	TiO <sub>2</sub>	1,59
Sr	0,72	SrO	0,38
Mn	0,57	MnO	0,37
Eu	0,55	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,32
Re	0,37	Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,22
Cu	0,15	CuO	0,085
Ba	0,10	BaO	0,07
V	0,083	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,078
Cr	0,059	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,045

Uji kandungan kimia *fly ash* menggunakan uji XRF di Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang. Data hasil pengujian XRF *fly ash* digunakan bersama tim yang beranggotakan penulis dan

Andini Kurniawati. Hasil uji XRF *fly ash* terdapat pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Kandungan *Fly Ash* dengan XRF

Unsur	Kadar (%)	Unsur	Kadar (%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,55	BaO	0,32
SiO <sub>2</sub>	29,50	MnO	0,32
CaO	16,90	Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,00	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04
MoO <sub>3</sub>	2,30	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
TiO <sub>2</sub>	1,38	NiO	0,03
K <sub>2</sub> O	1,18	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,083
SrO	0,48	CuO	0,061
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35		

Hasil pengujian kandungan kimia *fly ash* dapat diketahui bahwa unsur CaO sebesar 16,9% dan kadar (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebesar 76,05%. Menurut SNI 2460:2014, *fly ash* dikategorikan kelas C dari batubara lignite dan subituminous dikarenakan hasil uji kandungan CaO lebih dari 10%. Selain itu kadar (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) lebih dari 50%.

b. Uji semen

Pengujian berat jenis semen dan berat volume semen dilakukan bersama tim yang beranggotakan penulis, Bachrul Ulum, Moh. Ainur Rokhman, dan Yollanda Mardany. Berikut adalah Tabel 5 hasil uji berat jenis semen dan berat volume semen:

Tabel 5. Uji Semen

No	Uji	Hasil
1	Berat Jenis	2,941 gram/cm <sup>3</sup>
2	Berat Volume	1,338 gram/cm <sup>3</sup>

(Sumber: Hasil Penelitian Penulis dkk, Lab. Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya)

c. Uji *fly ash*

Hasil uji berat jenis dan berat volume *fly ash* disajikan pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Uji *Fly Ash*

No	Pengujian	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis	2,632 gram/cm <sup>3</sup>
2	Berat Volume	1,582 gram/cm <sup>3</sup>

(Sumber: Hasil Penelitian Pribadi, Lab. Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya)

d. Uji pasir Lumajang dan *copper slag*

Pengujian pasir Lumajang dilakukan bersama tim yang beranggotakan penulis, Bachrul Ulum, Moh. Ainur Rokhman, dan Yollanda Mardany. Uji pasir Lumajang dan *copper slag* disajikan dalam Tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 7. Uji Pasir Lumajang dan *Copper Slag*

No	Uraian	<i>Copper slag</i>	Pasir Lumajang
1	Berat Jenis	3,333 gram/cm <sup>3</sup>	2,50 gram/cm <sup>3</sup>
2	Penyerapan	0,806 %	1,626%
3	Analisa Ayakan	Zona 1	Zona 2
4	Analisa Ayakan 50% CS dan 50% PS	Zona 2	
5	Berat Volume	2,076 gram/cm <sup>3</sup>	1,722 gram/cm <sup>3</sup>
6	Kadar Lumpur	0,604%	1,215%
7	Kotoran Organik	Bening	Bening

(Sumber: Hasil Penelitian Penulis dkk, Lab. Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil uji berat jenis *copper slag* sebesar 3,333 gram/cm<sup>3</sup>. Sedangkan pasir Lumajang memiliki berat jenis sebesar 2,5 gram/cm<sup>3</sup>. Menurut Tjokrodinuljo, (2007) ditinjau dari berat jenisnya dapat dibedakan jenis agregat, maka hasil pengujian didapatkan bahwa berat jenis pasir Lumajang 2,5 gram/cm<sup>3</sup> termasuk jenis agregat normal karena memiliki berat jenis antara 2,5 - 2,7 gram/cm<sup>3</sup>. Sedangkan hasil pengujian *copper slag* didapatkan berat jenis 3,333 gram/cm<sup>3</sup> termasuk ke dalam agregat berat karena berberat jenis lebih dari 2,8 gram/cm<sup>3</sup>. Begitu juga dengan hasil penyerapan *copper slag* sebesar 0,806% dan pasir Lumajang sebesar 1,626% kurang dari 5% menunjukkan bahwa baik digunakan untuk pembuatan beton.

Hasil pengujian berat per volume *copper slag* adalah 2,076 gram/cm<sup>3</sup>. Sedangkan hasil berat per volume pasir Lumajang adalah

1,722 gram/cm<sup>3</sup>. Standar berat per volume agregat halus yang baik berkisar antara 1,0 - 2,0. Maka berat per volume *copper slag* dan pasir Lumajang telah memenuhi syarat.

Menurut Mulyono (2003) berdasarkan SII.0052 menyebutkan bahwa nilai kadar lumpur maksimal 5% pada agregat halus. Dengan demikian ditinjau dari kadar lumpur, *copper slag* dan pasir Lumajang telah memenuhi syarat sebagai agregat halus.

Hasil pengujian kotoran organis pasir Lumajang dan *copper slag* menghasilkan warna lebih bening dari pada warna standar. Hal tersebut menunjukkan bahwa pasir Lumajang dan *copper slag* tidak mengandung zat organis sehingga dapat langsung digunakan dalam pembuatan campuran beton.

## 2. Pengujian *paving block*

Pengujian *paving block* antara lain pengujian kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus dapat dilihat sebagai berikut:

### a. Uji kuat tekan



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan

(Sumber: Hasil Penelitian Pribadi, Lab. Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya)

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan nilai kuat tekan pada setiap variasi. Nilai kuat tekan substitusi *fly ash* terhadap semen 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% didapatkan hasil secara berturut-turut sebesar 17,504 MPa, 20,913 MPa, 18,851 MPa, 18,566 MPa, 17,083 MPa, dan 16,891 MPa. Hasil kuat tekan menandakan bahwa substitusi *fly ash* 5%, 7,5%, dan 10% masih berada di atas kuat tekan kontrol 0% *fly ash*. Akan tetapi pada

penambahan *fly ash* lebih dari 10% kuat tekan mengalami penurunan dari kuat tekan kontrol 0% *fly ash*.

Pengaruh penurunan kuat tekan disebabkan pengikatan semen menjadi berkurang akibat terlalu banyak substitusi *fly ash* dan penggunaan substitusi *fly ash* memiliki ketentuan optimum untuk dapat meningkatkan kuat tekan. Grafik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 2 sebesar 20,913 MPa hal ini menunjukkan bahwa persentase optimum nilai kuat tekan penggunaan *fly ash* pada variasi 2 yaitu penggunaan *fly ash* sebesar 5%.

Hasil kuat tekan dapat ditentukan klasifikasi mutu *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996. Hasil kuat tekan pada substitusi *fly ash* sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% dikategorikan dalam mutu kelas B sedangkan hasil substitusi penggunaan *fly ash* sebesar 15% dikategorikan dalam mutu kelas C.

### b. Uji penyerapan air



Gambar 2. Grafik Penyerapan Air

(Sumber: Hasil Penelitian Pribadi, Lab. Beton Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya)

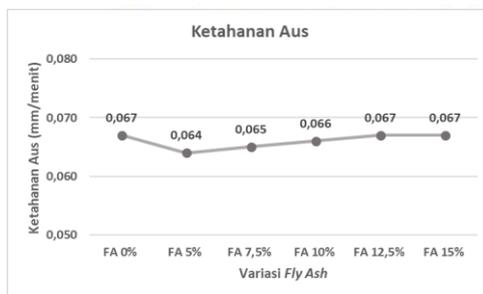
Grafik pada Gambar 2 menunjukkan nilai penyerapan air pada setiap variasi. Nilai kuat tekan substitusi *fly ash* terhadap semen 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% didapatkan hasil secara berturut-turut sebesar 6,733%, 6,004%, 6,528%, 6,635%, 6,810%, dan 6,938%. Grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai penyerapan air substitusi *fly ash* 5%, 7,5%, dan 10% masih berada di bawah

penyerapan air kontrol 0% *fly ash*. Akan tetapi pada substitusi *fly ash* lebih dari 10% mengalami peningkatan dari penyerapan air kontrol 0% *fly ash*.

Hal tersebut terjadi karena butiran *fly ash* berukuran lebih kecil dari butiran semen sehingga butiran *fly ash* mengisi rongga *paving block* menyebabkan struktur *paving block* menjadi rapat dan padat. Penggunaan *fly ash* menyebabkan nilai penyerapan air menjadi kecil dan penggunaan *fly ash* lebih baik dibandingkan tanpa penggunaan *fly ash* pada *paving block*. Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa persentase optimum penggunaan *fly ash* pada hasil nilai penyerapan air adalah variasi 2 yaitu penggunaan *fly ash* sebesar 5% didapatkan nilai penyerapan air terendah sebesar 6,004%.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 dapat ditentukan mutu *paving block* hasil nilai penyerapan air. Hasil penyerapan air pada substitusi penggunaan *fly ash* sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% dikategorikan dalam mutu kelas C. Berdasarkan SNI 03-0691-1996 disebutkan bahwa klasifikasi mutu *paving block* masuk kelas C memiliki penyerapan air maksimal sebesar 8%.

c. Uji Ketahanan aus



Gambar 3. Grafik Ketahanan Aus

(Sumber: Hasil Penelitian Pribadi, Lab. Kayu Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya)

Grafik pada Gambar 3 menunjukkan nilai ketahanan aus pada setiap variasi. Nilai ketahanan aus substitusi *fly ash* terhadap

semen 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% didapatkan hasil sebesar 0,067 mm/mentit, 0,064 mm/mentit, 0,065 mm/mentit, 0,066 mm/mentit, 0,067 mm/mentit, dan 0,067 mm/mentit. Hasil grafik menunjukkan bahwa ketahanan aus *paving block* substitusi *fly ash* 5%, 7,5%, dan 10% masih berada di bawah ketahanan aus kontrol 0% *fly ash*. Akan tetapi pada penambahan *fly ash* lebih dari 10% ketahanan aus *paving block* menghasilkan nilai yang sama dari ketahanan aus kontrol 0% *fly ash*.

Nilai ketahanan aus yang rendah dipengaruhi oleh kerapatan dan kepadatan disebabkan ukuran butiran *fly ash* yang lebih kecil dari semen mampu mengisi pori-pori *paving block* sehingga membuat *paving block* tahan terhadap adanya gesekan pada permukaan. Persentase optimum penggunaan *fly ash* pada hasil nilai ketahanan aus adalah variasi 2 yaitu penggunaan *fly ash* sebesar 5%. Pada penggunaan *fly ash* sebesar 5% didapatkan nilai ketahanan aus terendah sebesar 0,064 mm/mentit.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 dapat ditentukan mutu *paving block* hasil nilai ketahanan aus. Hasil nilai ketahanan aus pada substitusi penggunaan *fly ash* sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% dikategorikan dalam mutu kelas A.

### Pembahasan

#### 1. Analisis Hubungan Kuat Tekan dengan Penyerapan Air

Hubungan kuat tekan dengan penyerapan air berbanding terbalik. Pada variasi 2 atau penggunaan *fly ash* sebesar 5% sebagai substitusi semen memiliki nilai kuat tekan tertinggi dengan nilai sebesar 20,913 MPa sedangkan nilai penyerapan air terendah sebesar 6,004%. Hal ini disebabkan struktur *paving block* yang semakin padat dan kuat menandakan bahwa memiliki porositas yang rendah sehingga air yang diserap

juga sedikit. Sedangkan nilai kuat tekan terendah pada variasi 6 atau penggunaan *fly ash* sebesar 15% dengan nilai sebesar 16,891 MPa dan nilai penyerapan air tertinggi sebesar 6,938%. Hal ini disebabkan adanya kepadatan dan kerapatan yang kurang baik pada *paving block* memiliki pori-pori yang besar sehingga penyerapan air menjadi besar. Persentase optimum penggunaan *fly ash* pada hasil nilai kuat tekan dan penyerapan air adalah variasi 2 atau penggunaan *fly ash* sebesar 5% didapatkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 20,913 MPa dan penyerapan air terendah sebesar 6,004%. Hubungan kuat tekan dengan penyerapan air *paving block* disajikan pada Gambar 4 sebagai berikut:

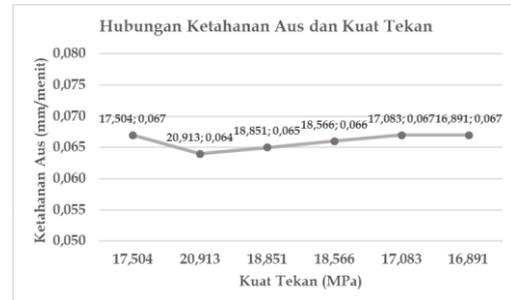


Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Penyerapan Air

## 2. Analisis Hubungan Ketahanan Aus dengan Kuat Tekan

Nilai ketahanan aus dengan kuat tekan memiliki hubungan berbanding terbalik. Struktur *paving block* yang padat dan rapat menyebabkan semakin kuat dan dapat menahan beban yang berat sehingga memiliki nilai kuat tekan yang tinggi. Kerapatan dan kepadatan tersebut juga berpengaruh terhadap keausan karena *paving block* akan tahan terhadap gesekan pada permukaan sehingga tidak menyebabkan kehilangan butiran-butiran. Pada variasi 2 penggunaan *fly ash* sebesar 5% sebagai substitusi semen memiliki nilai ketahanan aus terendah dan kuat tekan tertinggi dengan nilai sebesar 0,064 mm/menit dan 20,913 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa persentase optimum penggunaan *fly ash* pada hasil nilai ketahanan aus dan kuat tekan

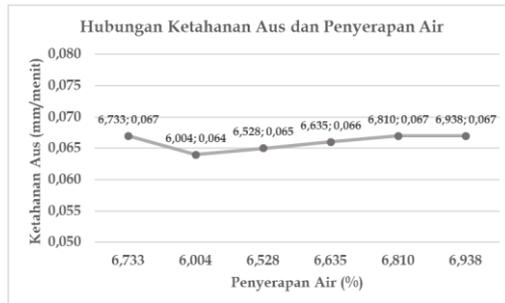
adalah variasi 2 atau penggunaan *fly ash* sebesar 5%. Hubungan ketahanan aus dengan kuat tekan *paving block* disajikan pada Gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Hubungan Ketahanan Aus dengan Kuat Tekan

## 3. Analisis Hubungan Ketahanan dengan Penyerapan Air

Hubungan ketahanan aus dengan penyerapan air berbanding lurus dimana apabila nilai penyerapan air tinggi maka nilai ketahanan aus semakin besar begitu juga sebaliknya. Nilai ketahanan aus yang rendah menandakan bahwa permukaan *paving block* yang hilang sedikit akibat adanya gesekan. Hal ini disebabkan *paving block* dengan nilai porositas yang rendah memiliki rongga atau pori-pori yang kecil sehingga *paving block* padat dan rapat apabila diberikan gesekan maka pengaruhnya kecil dan menyebabkan nilai penyerapan air yang dihasilkan rendah. Pada variasi 2 atau penggunaan *fly ash* sebesar 5% sebagai substitusi semen memiliki nilai ketahanan aus dan penyerapan air terendah dengan nilai sebesar 0,064 mm/menit dan 6,004%. Persentase optimum penggunaan *fly ash* pada hasil nilai ketahanan aus dan penyerapan air adalah variasi 2 atau penggunaan *fly ash* sebesar 5%. Hubungan ketahanan aus dengan penyerapan air disajikan pada Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Hubungan Ketahanan Aus dengan Penyerapan Air

## PENUTUP

### Simpulan

Persentase optimum penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen pada komposisi campuran *paving block* dengan 50% *copper slag* pada uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji ketahanan aus adalah variasi 2 yaitu penggunaan *fly ash* sebesar 5%. Hal ini ditinjau dari nilai kuat tekan, penyerapan air, ketahanan aus dengan nilai kuat tekan sebesar 20,913 MPa, penyerapan air sebesar 6,004%, dan ketahanan aus sebesar 0,064 mm/menit.

### Saran

1. Hasil limbah berupa *fly ash* sebagai substitusi semen dan *copper slag* 50% sebagai substitusi agregat halus dapat diaplikasikan pada campuran *paving block* dengan komposisi *fly ash* kurang dari 10% dikarenakan substitusi *fly ash* lebih dari 10% terjadi penurunan nilai kuat tekan, penyerapan air, dan ketahanan aus.
2. Penelitian ini menggunakan *fly ash* dengan tipe C perlu adanya penelitian lebih lanjut dapat menggunakan *fly ash* tipe F untuk mengetahui perbedaannya.
3. Sebaiknya penelitian selanjutnya mencoba bervariasi hasil limbah *fly ash*, *copper slag*, dengan bahan hasil limbah lainnya yang dapat meningkatkan kualitas mutu dan menghemat biaya pembuatan *paving block*.

## DAFTAR PUSTAKA

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. 2014. *Standar Nasional Indonesia (SNI 2460:2014) Spesifikasi Abu Terbang Batubara dan Pozolan Alam Mentah atau Yang Telah Dikalsinasi untuk Digunakan Dalam Beton*. Jakarta.

Klarens, Kevin, Michael Indranata, Antoni, dan Djwantoro Hardjito. 2016. "Pemanfaatan Bottom Ash Dan Fly Ash Tipe C Sebagai Bahan Pengganti Dalam Pembuatan Paving Block". *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*. Vol. 5 (2): hal 1-8.

Kurniasari, Paramita Tri. 2017. *Pemanfaatan Penggunaan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolymer*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Kurniawati, Lianita. 2017. "Pengaruh Penggunaan Copper Slag Sebagai Pengganti Pasir (Fine Aggregate) Pada Campuran Paving Block". *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 3 (3): hal. 175-180.

Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: CV. Andi Offset (Penerbit Andi).

Qomaruddin, Mochammad, Ariyanto, Yayan Adi Saputri, and Sudarno. 2018. "Analisa Kuat Tekan Mortar Beton Fly Ash Dari Industri PLTU Tanjung Jati B Jepara Dengan Menggunakan Pasir Sungai Tempur Kabupaten Jepara". *Jurnal Reviews In Civil Engineering*. Vol. 2 (1): hal 35-40.

Rengganis, Ardhisa Narawita. 2017. "Pengaruh Substitusi Copper Slag Sebagai Agregat Halus Terhadap Karakteristik Beton Geopolymer Berbahan Dasar Fly Ash". *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 3: hal. 343-348.

Setiawati, Mira. 2018. "Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton". Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018. Jakarta. 17 Oktober 2018.

Soandrijanie, JF. 2011. "Pengaruh Penggunaan Copper Slag Pada Beton Aspal". Seminar Nasional-1 BMPPTSSI - KoNTekS 5. Medan. 14 Oktober 2011.

Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.

Wahyuningtyas, Dyah. 2017. "Pengaruh Penggunaan Copper Slag Sebagai Pengganti Pasir Terhadap Kualitas Genteng Beton Sesuai SNI 0096:2007". *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. Vol. 3 (3): hal 167-174.