

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME:	NOMER:	HALAMAN:	SURABAYA	ISSN:
	02	02	24 - 35	2017	2252 - 5009

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii

- Vol 2 Nomer 2/rekat/17 (2017)

PEMANFAATAN BATU APUNG DALAM PEMBUATAN BETON RINGAN DENGAN PENAMBAHAN LUMPUR SIDOARJO (LUSI) SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS

Abdul Ra'uf Alfansuri, Arie Wardhono, 01 – 11

ANALISA SISA MATERIAL DAN PENANGANANNYA PADA PROYEK APARTEMEN *ROYAL CITYLOFT* SURABAYA

M. Alfin Ahfityatna, Didiek Purwadi, 12 – 23

PENGARUH PENYIRAMAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS *PAVING STONE GEOPOLYMER* BERBAHAN DASAR ABU TERBANG

Raditya Eko Kurniawan, Arie Wardhono, 24 – 35



PENGARUH PENYIRAMAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS PAVING STONE GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG

Oleh:

Raditya Eko Kurniawan

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Prodi S1 Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Negeri Surabaya

radit.kurniawan418@gmail.com

Abstrak

Dari berbagai jenis material bangunan yang dapat mencemari lingkungan, salah satu yang paling sering digunakan adalah semen. Seperti yang kita ketahui, semen adalah material pokok yang selalu digunakan pada setiap kegiatan pembangunan, sehingga kebutuhan akan semen akan selalu meningkat. Dengan meningkatnya kebutuhan semen, berakibat meningkatnya pula produksi semen dimana dalam produksi semen menghasilkan karbondioksida yang berdampak mencemari lingkungan (Manuaha R, 2014)

Untuk mengurangi penggunaan semen sebagai material bangunan, dewasa ini telah di terapkan sebuah inovasi baru yang ramah lingkungan, yaitu bangunan yang bersifat *geopolymer*. Dikatakan *geopolymer*, karena tidak menggunakan semen akan tetapi menggunakan material alternatif yang banyak mengandung unsur silika dan alumia. Salah satu limbah yang berpotensi tersebut adalah *fly ash*/ abu terbang.

Pada penelitian ini akan dibuat *paving stone geopolymer* dengan pasir sebagai bahan dasarnya, abu terbang dan kapur akan berfungsi sebagai substitusi semen, dan ditambahkan sodium silika (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) 10Molar. Tiga metode proses *curing* yang diterapkan, yaitu penyiraman satu kali sehari, dua kali sehari, dan melakukan perendaman penuh.

Komposisi optimum didapatkan oleh perbandingan 0,7 abu terbang: 0,3 kapur: 3 pasir, dengan nilai kuat tekan 20,32 MPa, nilai permeabilitas 9,00 %, dan nilai ketahanan aus 0,1 mm/menit, sehingga *paving stone* memenuhi syarat mutu kelas B sesuai pada SNI 03-0691-1996.

Kata kunci : abu terbang, kapur, geopolymer, paving, penyiraman

Abstract

Through various types of construction materials that can pollute the environment, one of the most frequently used is cement. As we know, cement is the basic material that always used in any development activities, so the demand of cement will increase. With the increasing cement demand, consequently increasing cement production where in the production of cement produces carbon dioxide that can polluting the environment.

To reduce the use of cement as a building material, it has currently implemented a new innovation-friendly environment, which is a building with geopolymer property. It said geopolymer, because not using cement but using alternative materials that contain many elements of silica and alumia. One of the potential waste is fly ash.

In this study will be made of paving stone geopolymer with sand as basic materials, fly ash and lime will serve as a cement substitute, then added sodium silica (Na_2SiO_3) and sodium hydroxide (NaOH) 10Molar. Three methods of curing applied, that is watering once a day, twice a day, and do a full submersion.

The optimum composition obtained by ratio of 0.7 fly ash: 0,3 lime: 3 sand, with a value of compressive strength 20.32 MPa, permeability value of 9.00%, and the wear resistance value of 0.1 mm / min, so paving stone meet quality requirements grade B according to the SNI 03-0691-1996.

Keywords : fly ash, lime, geopolymer, paving, watering.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, pertumbuhan jumlah penduduk tentu saja juga bertambah dengan pesat. Hal ini mengakibatkan terjadinya pembangunan sarana dan prasarana

seperti jalan, rumah tinggal, bangunan gedung dan infrastruktur lain yang dapat menunjang kebutuhan masyarakat. Seperti yang kita ketahui, semen adalah material pokok yang selalu digunakan pada setiap kegiatan pembangunan,

sehingga kebutuhan akan semen akan selalu meningkat. Dengan meningkatnya kebutuhan semen ini berakibat meningkatnya pula produksi semen dimana dalam produksi semen menghasilkan karbondioksida yang berdampak mencemari lingkungan (Manuahe R, 2014)

Untuk mengurangi penggunaan semen sebagai material bangunan, dewasa ini telah di terapkan sebuah inovasi baru yang ramah lingkungan, yaitu bangunan yang bersifat *geopolymer*. Dikatakan *geopolymer* karena tidak menggunakan semen akan tetapi menggunakan material alternatif yang banyak mengandung unsur silika dan alumia. Berbagai penelitian telah dilakukan terhadap beberapa macam limbah yang berpotensi dapat menjadi material dengan sifat *geopolymer*. Salah satu limbah yang berpotensi tersebut adalah *fly ash*/ abu terbang. Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang dikandung di dalam *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (Djiwanto, 2001).

Sifat *geopolymer* ini dapat di terapkan ke berbagai jenis struktur bangunan, salah satunya adalah *paving stone*. Untuk membuat *paving stone* yang bersifat *geopolymer*, material semen akan di substitusikan dengan abu terbang dan kapur. Pada umumnya, jenis *curing* yang digunakan untuk penelitian pada paving maupun beton adalah dengan metode perendaman. Namun apabila metode perendaman diterapkan pada material *geopolymer*, akan akan menghambat peningkatan kekuatan. Seperti pada pernyataan Zuhua, dkk yang menyatakan bahwa, jika terlalu banyak air disekitar material jenis hidrolisis, maka polikondensasi akan terhambat. Selain itu, bahan aktifator akan terserap keluar dari permukaan material *geopolymer* jika dilakukan proses *curing* didalam air, sehingga mengakibatkan peningkatan kekuatan menjadi terhambat (Zuhua, dkk. 2008).

Pada penelitian sebelumnya, *curing* tidak diperlukan pada material *geopolymer*, karena abu terbang yang terkandung didalamnya dapat mengeras pada suhu ruangan dan semakin cepat pada suhu yang tinggi. Pada awalnya, *curing* dengan suhu yang tinggi menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari pada *curing*

normal (direndam dalam air), tetapi pada akhirnya *curing* normal akan menghasilkan kekuatan yang setara atau bahkan lebih tinggi dari pada *curing* dengan suhu tinggi (Li, Xueying, dkk. 2013)

Pada penelitian ini akan dibuat *paving stone geopolymer* dengan pasir sebagai bahan dasarnya, abu terbang dan kapur akan berfungsi sebagai substitusi semen. Dalam penelitian ini tidak menggunakan air, namun sebagai gantinya menggunakan larutan aktifator, yaitu sodium silika (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH). Tiga metode proses *curing* dengan penyiraman dilakukan pada benda uji, yaitu penyiraman satu kali sehari, dua kali sehari, dan melakukan perendaman penuh.

KAJIAN PUSTAKA

Paving block merupakan produk bahan bangunan dari semen yang digunakan sebagai salah satu alternatif penutup atau pengerasan permukaan tanah. *Paving block* dikenal juga dengan sebutan bata beton (*concrete block*) atau *cone block*. Berdasarkan SNI 03-0691 -1996 *paving block* adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat (pasir) dengan atau tanpa bahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton.

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 klasifikasi *paving Block* (bata beton) dibedakan menurut kelas penggunaannya sebagai berikut :

Bata beton mutu A digunakan untuk jalan
Bata beton mutu B digunakan untuk pelataran parkir
Bata beton mutu C digunakan untuk pejalan kaki
Bata beton mutu D digunakan untuk taman dan pengguna lain

Tabel 1 Persyaratan Mutu Setiap Jenis Bata Beton Menurut SNI 03-0691-1996

Jenis	Kuat Tekan (Mpa)		Penyerapan air
	Rata-rata	Minimum	Rata-rata maks
A	40	35	3
B	20	17	6
C	15	12,5	8
D	10	8,5	10

Pasir

Komposisi kimia pasir dan keadaan geologi mempengaruhi kualitas pasir. Gradasi yang baik dari pasir juga memberikan efek yang penting pada ketahanan mortar. Pasir dengan butiran yang sangat halus tidak praktis untuk kelecakannya, sehingga harus ditambahkan semen untuk mengisi rongga diantara butiran yang halus tersebut, sedangkan mortar yang menggunakan pasir dengan butiran yang besar biasanya lemah karena rongga antar butiran cukup lebar sehingga tegangan tidak dapat menyebar secara merata. Pasir yang digunakan pada campuran mortar dalam penelitian ini adalah pasir dengan partikel lolos ayakan 0,35 mm.

Faktor kandungan air dalam pasir juga memegang peranan penting dalam mortar. Pasir dengan kandungan air yang banyak dapat menambah rasio yang berakibat pada penurunan kekuatan. Hal ini dikarenakan air yang semula menempati rongga menguap bersamaan dengan terjadinya reaksi hidrasi sehingga terbentuk rongga yang dapat meningkatkan porositas paving block.

Abu Terbang

Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik (SNI 03-6414-2002). Abu terbang dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan agregat buatan dalam campuran beton, bahan tambahan paving block, mortar, batako, beton ringan, dan sebagainya.

Saat ini *fly ash* banyak dipakai untuk campuran beton, mengingat *fly ash* mengandung bahan pozzolan yaitu silikat dan aluminat serta sedikit unsure kalsium. Abu terbang sangat baik digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran mortar karena bahan penyusun utamanya adalah Silikon dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3) dan Ferrum Oksida (Fe_2O_3). Dengan menggunakan abu terbang sebanyak 20%-30% dari berat semen akan dapat meningkatkan kuat tekan beton (Andoyo, 2006).

Dalam SNI 03-6863-2002 spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambah campuran beton dibedakan menjadi 3 jenis abu terbang, yaitu:

1. Abu terbang jenis N, abu terbang hasil kalsinasi dari pozzolan alam, misalnya tanah *diatomite*, *shole*, *tuft* dan batu apung, biasanya diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran.
2. Abu terbang jenis F, Abu terbang yang mengandung CaO lebih kecil 10 %, abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis *anthracite* pada suhu kurang lebih 1560°C . abu terbang ini memiliki sifat pozzolan. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70 %
3. Abu terbang jenis C, Abu terbang yang mengandung CaO di atas 10 %, dan abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan dari pembakaran lignit atau batubara dengan kadar *carbon* $\pm$ 60 % atau sub bitumen. Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50 %

Abu terbang memiliki sifat pozzolan yang terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif. Komposisi kimia abu terbang sedikit berbeda dengan komposisi kimia semen. Komposisi kimia berbagai jenis abu terbang dan Semen Portland menurut Ratmayana Urip (2003) dan Andoyo (2006) seperti tabel 2 berikut

Tabel 2 Komposisi berbagai jenis abu terbang dan semen Portland

Komposisi kimia	Jenis Abu Terbang			Semen Portland
	Jenis F	Jenis C	Jenis N	
SiO_2	51,90	50,90	58,20	22,60
Al_2O_3	25,80	15,70	18,40	4,30
Fe_2O_3	6,98	5,80	9,30	2,40
CaO	8,70	24,30	3,30	64,40
MgO	1,80	4,60	3,90	2,10
SO_2	0,60	3,30	1,10	2,30
Na_2O dan K_2O	0,60	1,30	1,10	0,60

Kapur

Kapur memiliki beberapa sifat yang baik sebagai bahan bangunan. Sifat-sifat kapur sebagai bahan bangunan (bahan ikat) menurut I Kadek Bagus Widayana, 2010 yaitu:

1. Mempunyai sifat plastis yang baik (tidak getas)
2. Sebagai mortel, memberi kekuatan pada tembok.
3. Dapat mengeras dengan cepat dan mudah.
4. Mudah dikerjakan.

5. Mempunyai ikatan yang bagus dengan batu atau bata.

Ditinjau dari bentuknya kapur menjadi:

- Kapur Tohor
Berbentuk gumpalan hasil pembakaran batu kapur.
- Kapur Padam Kering
Berbentuk serbuk dihasilkan dengan pembakaran kapur tohor secara kering.

Menurut cara mengerasnya kapur dibedakan menjadi:

- Kapur udara
Kapur padam bila diaduk dengan air, setelah beberapa waktu dapat mengeras di udara.
- Kapur hidrolis
Kapur padam bila diaduk dengan air, setelah beberapa waktu dapat mengeras di dalam air maupun di udara.

(Heinz Frick dan Koesmartadi, 1999)

Sodium Silika (Na_2SiO_3)

Sodium silikat merupakan salah satu bahan tertua dan yang paling aman yang sering digunakan di dalam industri kimia. Proses produksinya yang lebih sederhana menyebabkan sodium silikat berkembang dengan cepat sejak tahun 1818. Sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir (SiO_2) dicampur dengan *sodium carbonate* (Na_2CO_3) atau dengan *pottasium carbonate* (K_2CO_3) pada temperatur 1100-1200°C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (*cullets*) yang dilarutkan ke dalam air dengan tekanan tinggi menjadi cairan yang kering dan agak kental. Sedangkan pada proses pembuatan basah, pasir (SiO_2) dicampur dengan *sodium hidroksida* (NaOH) melalui proses filtrasi sehingga menghasilkan sodium silikat yang murni (Veliyati, 2010).

Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang berperan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silikat seperti sodium silikat, dibandingkan reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida.

Sodium Hidroksida (NaOH)

Sodium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik atau natrium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Sodium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Sodium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia.

Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polymer yang kuat. Sebagai aktivator, sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum pemakaian. (Hardjito et.al, 2005 dalam (Veliyati, 2010)).

Pengaruh Curing Pada Beton

Dapat dinyatakan bahwa perkembangan yang baik dari kekuatan beton tidak hanya dipengaruhi keseluruhan semen terhidrasi, dan ini terbukti dalam praktik di lapangan. Kualitas beton juga tergantung kepada *gel/space ratio* dari pasta semen. Jika sekiranya ruang yang terisi air dalam beton segar lebih besar dari volume yang dapat diisi oleh produksi dari hidrasi, hidrasi yang lebih banyak akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dan permeabilitas yang lebih rendah (Neville, 1982).

Oleh sebab itu diperlukan perawatan dengan air sehingga untuk jangka panjang, kualitas beton, baik kekuatan maupun kekedapan airnya, dapat lebih baik. Perawatan dengan cara membasahi menghasilkan beton yang terbaik. Semakin erat pendekatan kondisi perawatan, semakin kuat beton yang dihasilkan. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 3 (Murdock dan Brook, 1999).

Uji Kuat Tekan

Standar yang digunakan pada pengujian ini adalah S N I 03-0691-1996. Alat yang digunakan pada tes uji tekan mortar adalah *Hydraulic Universal Testing Machine*.

Pembebanan diberikan sampai benda uji runtuh, yaitu pada saat beban maksimum bekerja. Beban maksimum dicatat sebagai massa (m)

Besarnya kekuatan tekan suatu bahan merupakan perbandingan besarnya beban maksimum yang dapat ditahan bahan dikali percepatan gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$) dengan luas penampang bahan yang mengalami gaya tersebut. Secara matematis besarnya kekuatan tekan suatu bahan:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L}$$

Keterangan:

P = beban tekan, N

L = luas bidang tekan mm^2

Uji Permeabilitas

Prosedur pengujian Penyerapan Air dilakukan untuk mengetahui besarnya Penyerapan Air yang terdapat pada *paving block*. Standar yang digunakan pada pengujian ini adalah S N I 03-0691-1996. Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut: *Paving block* diambil dari ruangan pengering, kemudian *paving block* direndam di dalam bak selama 24 jam. Setelah perendaman *paving block* dikeluarkan dan ditimbang dalam keadaan basah (A), Lalu *paving block* dikeringkan dengan menggunakan oven atau didapur pengeringan selama 24 jam dengan suhu 105° . Kemudian timbang dalam keadaan kering oven (B).

Penyerapan Air *paving block* dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan :

A = berat paving beton basah (gr)

B = berat paving beton kering (gr)

Ketahanan aus

Pengukuran ketahanan aus adalah dimana ketahanan permukaan bahan terhadap gesekan benda tumpul maupun keras, sesuai dengan SNI paving 03-0691-1996 dijelaskan bahwa ketahanan aus dengan satuan mm/menit.

Ketahanan aus merupakan perbandingan ketebalan bahan sebelum mengalami gesekan dan sesudah di gesekan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan diterapkan pada penelitian ini, dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.

Pengujian dilakukan pada semua material penyusun *paving stone*, guna untuk mengetahui kualitas dan unsur yang terkandung didalamnya.

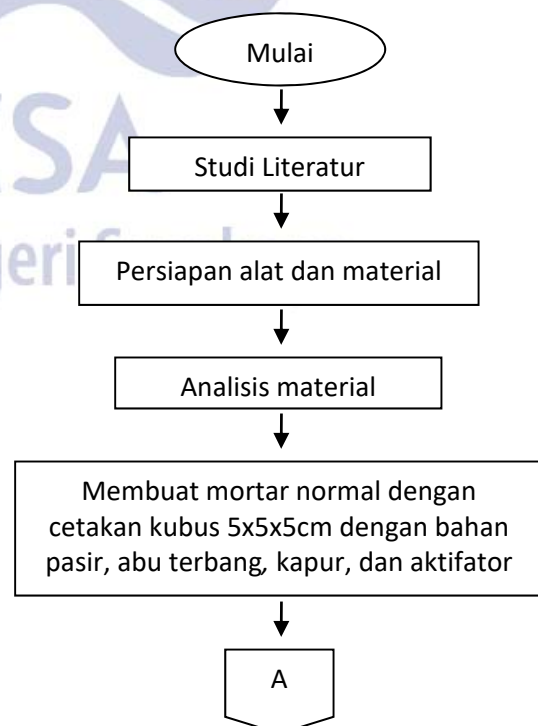
- Pengujian berat jenis, antara lain berat jenis berat jenis abu terbang, berat jenis pasir.
- Pengujian abu terbang, kapur, dan lumpur lapindo yaitu pengujian XRF untuk mengetahui kandungan unsur kimia material.

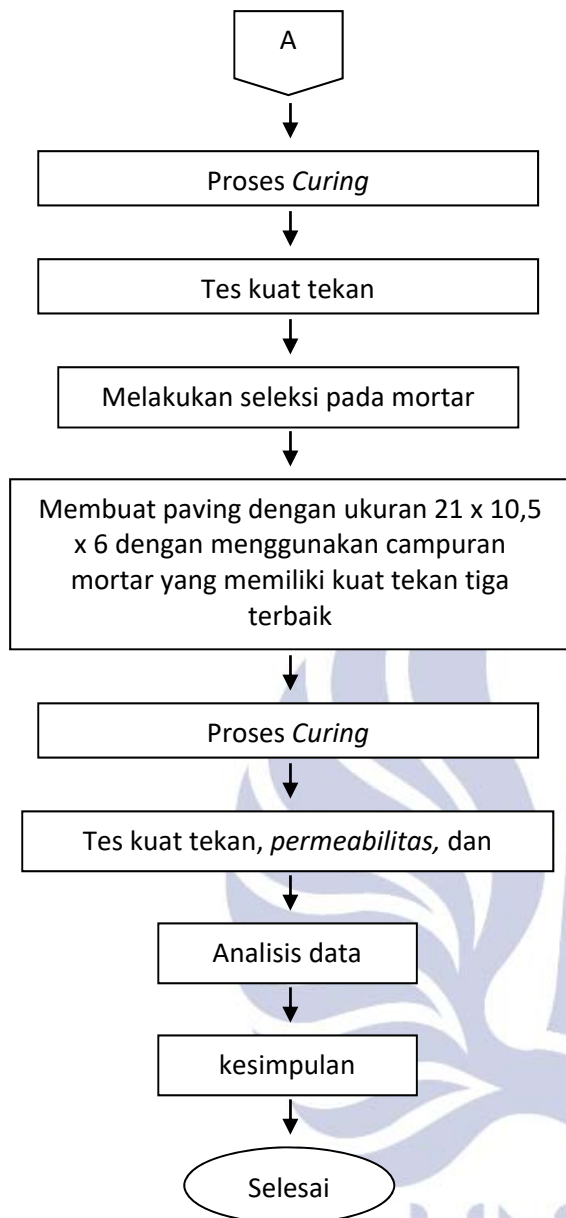
Paving stone yang akan digunakan menggunakan komposisi sebagai berikut:

Tabel 3 Perbandingan komposisi *paving stone* *geopolymer*

Kebutuhan	BU 1	BU 2	BU 3	BU 4	BU 5	BU 6
Abu terbang	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Kapur	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Pasir	3	3	3	3	3	3
NaOH 10M	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Na ₂ SiO ₃	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21

Prosedur penelitian





Gambar 1 Diagram flow chart penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Semua bahan yang akan digunakan dalam pembuatan paving block *Geopolimer* telah di uji dengan menggunakan metode XRF (*X-ray Fluorescence*) di laboratorium Lab Sentral Mineral dan Material FMIPA UNM.

1. Pengujian abu terbang

Material abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini, didapatkan dari CV. Dwi Mitra yang berlokasi di daerah menganti.

Tabel 4 Hasil uji XRF abu terbang

Nama Unsur	Kadar (%)	Nama Unsur	Kadar (%)
Fe	54,62 ± 0,15	Mn	0,55 ± 0,02
Si	13,4 ± 0,2	Eu	0,47 ± 0,12
Ca	18,3 ± 0,08	Sr	1 ± 0,04
Al	4,9 ± 0,2	Re	0,1 ± 0,03
K	1,4 ± 0,01	Cu	0,093 ± 0,003
Ti	1,21 ± 0,007	V	0,05 ± 0,009
Sr	1 ± 0,04	Cr	0,11 ± 0,002
Ba	0,47 ± 0,06	Yb	0,05 ± 0,01
Rb	0,28 ± 0,008	Zn	0,08 ± 0,003

Berdasarkan uji XRF didapatkan hasil kandungan kimia pada abu terbang, yaitu Fe dengan kadar 54,62%, Si dengan kadar 13,4% dan Ca 18,3% dimana lebih dari >10%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa abu terbang yang digunakan adalah type C dan memiliki kandungan yang sama seperti semen.

2. Kapur

Material kapur yang digunakan merupakan jenis kapur padam yang didapatkan dari toko bangunan daerah ketintang, surabaya. Penggunaan kapur pada penelitian ini berfungsi untuk mereduksi penggunaan abu terbang dan untuk mempercepat proses pengikatan campuran *paving block* pada suhu normal.

Tabel 5 Hasil uji XRF kapur

Nama Unsur	Kadar (%)
Ca	98,01 ± 0,03
Sr	0,89 ± 0,02
Yb	0,76 ± 0,02
Fe	0,31 ± 0,002
Cu	0,048 ± 0,0005

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kandungan tertinggi yaitu Ca sebesar 98,01%.

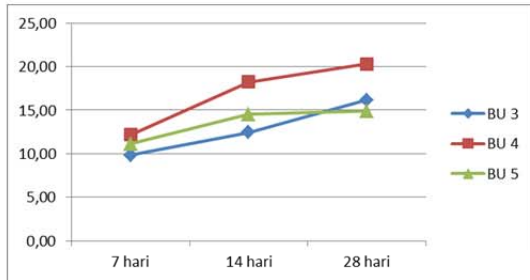
Pengujian kuat tekan

1. Uji Kuat Tekan.

Uji kuat tekan ini dilakukan dengan menggunakan *universal hydraulic testing machine* yang ada di laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Hasil dari uji kuat tekan adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Hasil uji kuat tekan

Variasi	Kuat Tekan (MPa)		
	7 hari	14 hari	28 hari
BU 3	9,84	12,43	13,51
BU 4	12,19	18,23	20,32
BU 5	11,11	14,51	14,88



Gambar 2 Grafik kuat tekan

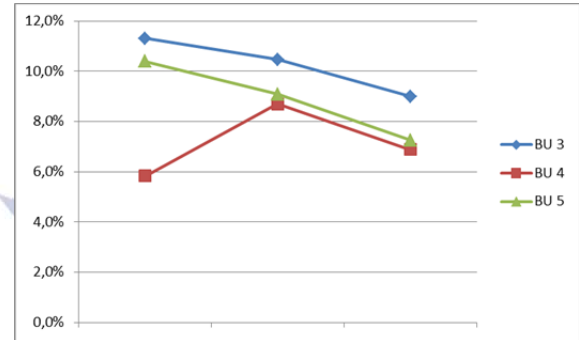
Berdasarkan tabel dan grafik diatas, dapat dilihat bahwa, kuat tekan tertinggi pada usia 7 hari adalah 12,19 MPa dihasilkan oleh BU 4, sedangkan BU 3 hanya mencapai 9,84 MPa dan BU5 menghasilkan 11,11 MPa. Kuat tekan tertinggi pada usia 28 hari masih dihasilkan dari BU 4 dengan nilai 18,23 MPa, sedangkan kuat tekan BU 3 hanya mencapai 12,43 MPa dan BU 5 sebesar 14,51 MPa. Yang terakhir pada usia 28 hari, kuat tekan tertinggi juga dihasilkan oleh BU 4 dengan nilai 20,32 MPa, sedangkan BU 3 hanya menghasilkan 16,15 MPa dan BU 5 menghasilkan 14,88 MPa. Hasil dari pengujian kuat tekan yang telah dilakukan masih tergolong cukup baik dan stabil, karena kuat tekan yang dihasilkan terus meningkat hingga pada usia 28 hari kecuali pada BU 5 yang mengalami sedikit penurunan pada usia 28 hari.

2. Uji Permeabilitas.

Uji permeabilitas adalah pengujian untuk mengetahui besarnya penyerapan terhadap air pada *paving block geopolymer*. Dalam melakukan uji permeabilitas ini, menggunakan bak perendam dan oven yang ada di laboratorium Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Hasil dari uji permeabilitas adalah sebagai berikut:

Tabel 7 Hasil uji permeabilitas

Variasi	Permeabilitas (%)		
	7 hari	14 hari	28 hari
BU 3	11,3%	10,5%	9,0%
BU 4	5,8%	8,7%	6,89%
BU 5	10,4%	9,1%	7,3%



Gambar 3 Grafik permeabilitas

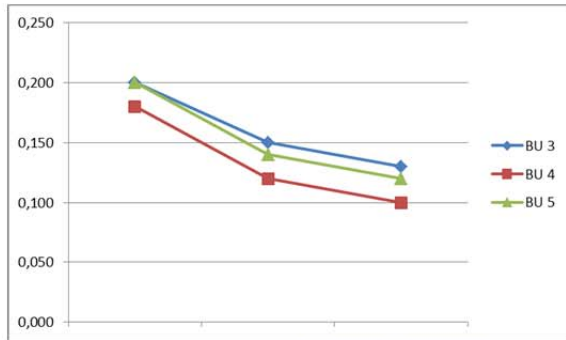
Berdasarkan tabel dan grafik diatas, dapat dilihat bahwa pada usia 7 hari, permeabilitas terendah didapatkan oleh BU 4 dengan persentase 5,8 %, sedangkan BU 3 mencapai 11,31%, dan BU 5 mencapai 10,40%. Lalu pada usia 14 hari, permeabilitas terendah dihasilkan oleh BU 4 dengan persentase 8,07%, sedangkan BU 3 mencapai 10,5% dan BU 5 mencapai 9,1%. Yang terakhir yaitu pada usia 28 hari, permeabilitas terendah dihasilkan oleh BU 4 dengan nilai 6,9%, sedangkan BU 3 mencapai nilai 9,0%, dan BU 4 mencapai 7,3%. Menurut SNI 03-0349-1949 bata beton seharusnya memiliki penyerapan maksimal 35% untuk konstruksi memikul beban yang terlindungi dari cuaca luar, dan 25% untuk konstruksi memikul beban yang tidak terlindungi dari cuaca luar. Sehingga dengan hasil permeabilitas seperti diatas, *paving block geopolymer* ini masih bisa digunakan karena telah memenuhi kualitas standart yang berlaku.

3. Uji ketahanan aus.

Uji ketahanan aus adalah pengujian untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap gesekan. Pengujian dilakukan secara manual dengan cara menggesekan amplas ke permukaan benda uji. Hasil dari uji ketahanan aus adalah sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil uji ketahanan aus

Variasi	Ketahanan Aus (mm/menit)		
	7 hari	14 hari	28 hari
BU 3	0,200	0,150	0,130
BU 4	0,180	0,120	0,100
BU 5	0,200	0,140	0,120



Gambar 4 Grafik hasil uji ketahanan aus

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, dapat dilihat bahwa pada usia 7 hari, hasil uji ketahanan aus terendah dihasilkan oleh BU 4 dengan nilai 0,18 mm/menit, sedangkan BU 3 mencapai 0,2 mm/menit, dan BU 5 mencapai 0,2 mm/menit. Lalu pada usia 14 hari, hasil uji ketahanan aus terendah dihasilkan oleh BU 4 dengan nilai 0,12 mm/menit, sedangkan BU 3 mencapai 0,15 mm/menit, dan BU 5 mencapai 0,14 mm/menit. Yang terakhir adalah pada usia 28 hari, hasil uji ketahanan aus terendah dihasilkan oleh BU 4 dengan nilai 0,1 mm/menit, sedangkan BU 3 mencapai 0,13 mm/menit, dan BU 5 mencapai 0,12 mm/menit. Hasil dari uji ketahanan aus ini cukup baik dan stabil, namun tidak dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan kualitas *paving block*. Hal ini dikarenakan pengujian yang dilakukan secara manual dengan tenaga manusia tanpa menggunakan alat uji ketahanan aus. Oleh karena itu, hasil dari uji ketahanan aus ini hanya sebagai pelengkap dari serangkaian pengujian yang dilakukan pada *paving block geopolymer*.

Hubungan antara hasil pengujian

Tabel 9 Mutu menurut SNI 03-0691-1996 paving block

Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan Air Rata-Rata Maks (%)
	Rata-Rata	Min	Rata-Rata	Min	
A	4	35	0,09	0,103	3
B	20	17	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Tabel 10 hasil seluruh jenis pengujian

Variasi	Usia	Kuat Tekan (MPa)	Permeabilitas (%)	Keausan (mm/menit)
BU 3	7 hari	9,84	11,31%	0,2
	14 hari	12,43	10,47%	0,15
	28 hari	13,51	9,00%	0,13
BU 4	7 hari	12,19	5,83%	0,18
	14 hari	18,23	8,70%	0,12
	28 hari	20,32	6,89%	0,1
BU 5	7 hari	11,11	10,40%	0,2
	14 hari	14,51	9,09%	0,14
	28 hari	14,88	7,26%	0,12

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa, data hasil uji kuat tekan menunjukkan nilai yang terus meningkat seiring bertambahnya usia benda uji. Seperti terlihat pada BU 3, kuat tekan yang dihasilkan terus meningkat mulai dari usia 7 hari hingga usia 28 hari. Sama seperti BU 3, pada BU 4 juga terjadi peningkatan yang cukup stabil mulai dari usia 7 hari hingga ke usia 28 hari. Pada BU 5 terjadi peningkatan kuat tekan dari usia 7 hari ke 14 hari, namun pada usia 28 hari terjadi sedikit penurunan. Dari ketiga benda uji tersebut, yang memiliki kuat tekan tertinggi adalah BU 4 dengan nilai 20,32 MPa. Hal ini membuat BU 4 masuk dalam kategori mutu *paving block* kelas B, dimana kuat tekan minimal untuk paving block jenis ini adalah 17 MPa.

Pada data hasil uji permeabilitas menunjukkan hasil yang stabil. Namun, dapat dilihat pada BU 3, terjadi kenaikan dan penurunan data yang tidak stabil sehingga sulit untuk mengambil kesimpulan dari data tersebut. Tidak seperti BU 3, pada BU 4 dan BU 5, mengalami penurunan yang cukup stabil pada hasil permeabilitasnya. Walau bagaimanapun, hasil pengujian ini sudah sesuai dengan standar yang ada, karena menurut SNI-03-

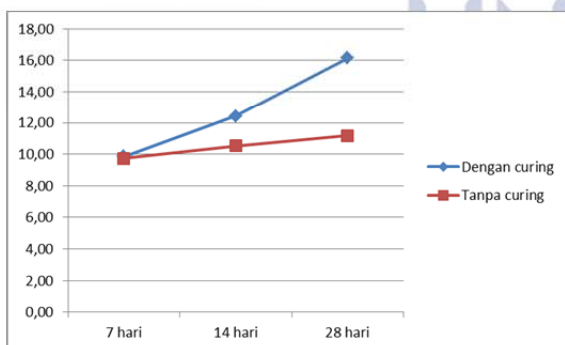
0691-1996 tentang *paving block*, semakin tinggi kuat tekan maka semakin rendah nilai permeabilitasnya. Nilai permeabilitas terendah didapatkan oleh benda uji BU 4 dengan nilai 6,89%, yang membuat benda uji ini masuk dalam mutu paving kelas B

Pada data hasil uji ketahanan aus, dapat terlihat bahwa terjadi penurunan yang stabil dari semua variasi benda uji. Selain itu, data yang dihasilkan juga serasi dengan data dari uji kuat tekan, dimana semakin tinggi kuat tekannya, maka semakin rendah nilai ketahanan ausnya. Nilai ketahanan aus tertinggi dihasilkan dari BU 4, sama seperti nilai kuat tekan dan permeabilitas tertinggi yang membuat benda uji variasi BU 4 masuk dalam kategori mutu *paving* kelas B.

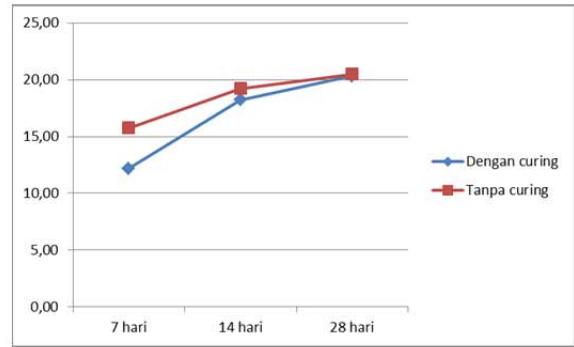
Pengaruh metode curing

Tabel 11 perbandingan hasil uji kuat tekan

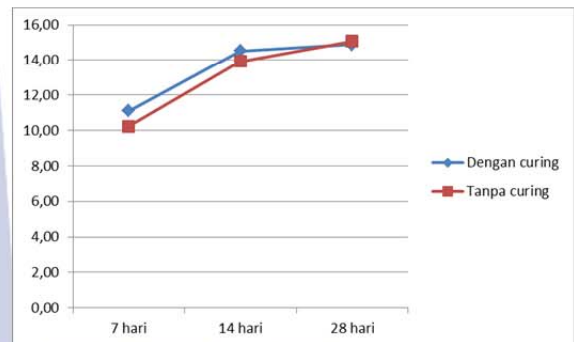
Variasi	Usia	Kuat tekan (MPa)	
		Dengan Curing	Tanpa Curing
BU 3	7 hari	9,84	9,74
	14 hari	12,43	10,52
	28 hari	13,51	11,18
BU 4	7 hari	12,19	15,74
	14 hari	18,23	19,23
	28 hari	20,32	20,50
BU 5	7 hari	11,11	10,23
	14 hari	14,51	13,92
	28 hari	14,88	15,08



Gambar 5 Grafik perbandingan uji kuat tekan usia 7 hari



Gambar 6 Grafik perbandingan uji kuat tekan usia 14 hari

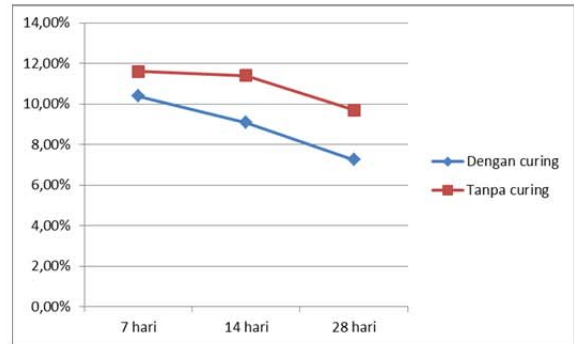


Gambar 7 Grafik perbandingan uji kuat tekan usia 28 hari

Pada tabel dan grafik diatas dapat terlihat bahwa, kuat tekan pada benda uji dengan menerapkan proses *curing* perendaman memiliki hasil yang lebih baik dan lebih stabil dibandingkan benda uji tanpa melakukan *curing*. Hal ini terjadi karena abu terbang yang digunakan pada penelitian ini adalah abu terbang tipe C yang memiliki sifat seperti semen. Seperti halnya material berbahan dasar semen, proses *curing* membantu untuk menstabilkan suhu pada benda uji. Apabila *curing* tidak diterapkan, maka suhu pada benda uji menjadi tidak merata yang mengakibatkan terjadinya retak yang dapat menurunkan kekuatan benda uji tersebut. Namun kuat tekan tertinggi masih dicapai oleh benda uji tanpa *curing*, akan tetapi tidak berbeda jauh dari benda uji dengan *curing*. Sehingga nilai hasil yang dicapai pada pengujian kuat tekan pada benda uji dengan *curing* dan tanpa *curing* masih dapat dibilang setara.

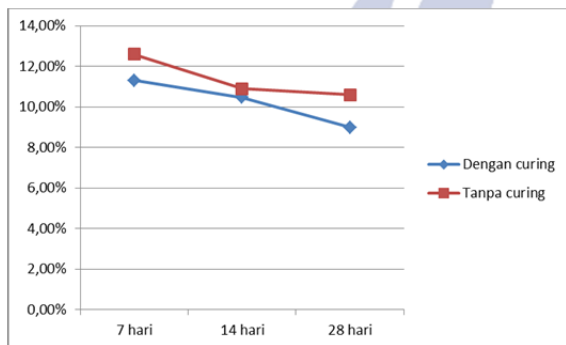
Tabel 12 Perbandingan hasil uji permeabilitas

Variasi	Usia	Permeabilitas (%)	
		Dengan Curing	Tanpa Curing
BU 3	7 hari	11,31%	12,60%
	14 hari	10,47%	10,90%
	28 hari	9,00%	10,60%
BU 4	7 hari	5,83%	11,60%
	14 hari	8,70%	10,00%
	28 hari	6,89%	9,40%
BU 5	7 hari	10,40%	11,60%
	14 hari	9,09%	11,40%
	28 hari	7,26%	9,70%

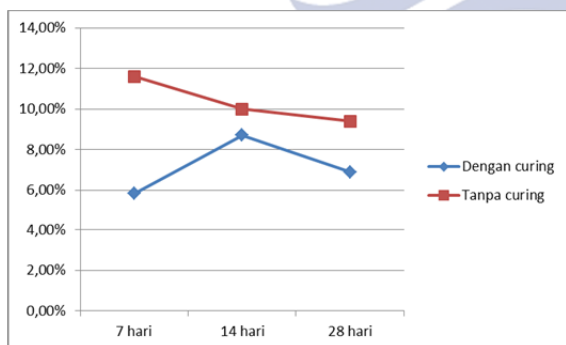


Gambar 10 Perbandingan hasil uji permeabilitas usia 28 hari

Seperti yang terjadi pada nilai kuat tekan, nilai permeabilitas pada benda uji dengan *curing* memiliki hasil yang lebih baik. Hanya saja pada BU 4, terjadi lonjakan data yang diakibatkan oleh permasalahan yang terjadi pada saat pengujian. Namun, secara keseluruhan hasil yang dicapai oleh benda uji dengan proses *curing* masih lebih baik dibandingkan dengan benda uji tanpa *curing*.



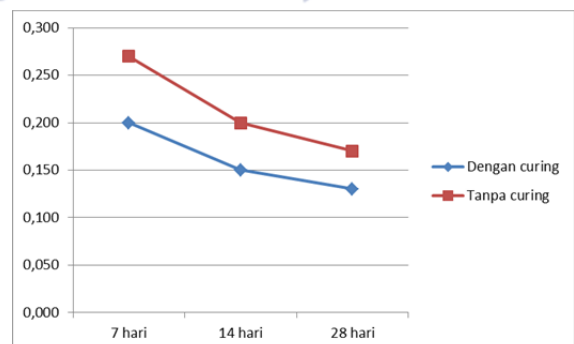
Gambar 8 Perbandingan hasil uji permeabilitas usia 7 hari



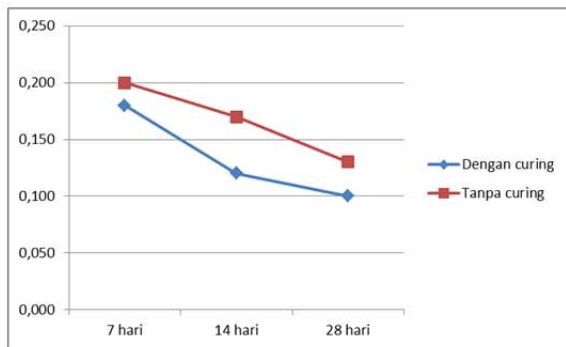
Gambar 9 Perbandingan hasil uji permeabilitas usia 14 hari

Tabel 13 Perbandingan hasil uji ketahanan aus

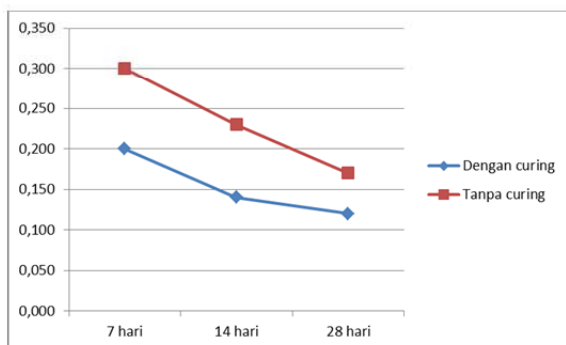
Variasi	Usia	Ketahanan Aus (mm/menit)	
		Dengan Curing	Tanpa Curing
BU 3	7 hari	0,200	0,27
	14 hari	0,150	0,2
	28 hari	0,130	0,17
BU 4	7 hari	0,180	0,2
	14 hari	0,120	0,17
	28 hari	0,100	0,13
BU 5	7 hari	0,200	0,3
	14 hari	0,140	0,23
	28 hari	0,120	0,17



Gambar 11 Perbandingan hasil uji ketahanan aus usia 7 hari



Gambar 12 Perbandingan hasil uji ketahanan aus usia 14 hari



Gambar 13 Perbandingan hasil uji ketahanan aus usia 28 hari

Nilai ketahanan aus pada benda uji dengan kedua metode *curing* menunjukkan hasil yang stabil. Namun, nilai ketahanan aus yang didapatkan oleh ketiga benda uji dengan *curing*, masih jauh lebih baik dibandingkan tanpa *curing*.

Berdasarkan semua data yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa, *curing* dengan menggunakan metode penyiraman cukup berpengaruh terhadap kuat tekan, permeabilitas dan ketahanan aus pada benda uji. Seperti yang dikatakan pada teori sebelumnya, bahwa pengaruh penyiraman pada usia awal akan memperlambat peningkatan kekuatan, namun pada usia akhir perawatan akan mendapatkan kekuatan yang sama atau bahkan melebihi *paving block geopolymer* dengan metode *curing* pada suhu ruangan.

PENUTUP

Simpulan

1. Komposisi optimum untuk *paving block geopolymer* adalah BU 4 dengan perbandingan komposisi bahan 3 pasir, 0,7 abu terbang, dan 0,3 kapur. Berdasarkan semua hasil pengujian yang telah didapatkan,

paving block geopolymer dengan komposisi optimum ini termasuk dalam kategori mutu paving kelas B, yaitu paving yang digunakan untuk peralatan parkir.

2. Proses *curing* dengan menggunakan metode penyiraman yang dilakukan pada benda uji, cukup berpengaruh terhadap kuat tekan dan permeabilitas benda uji tersebut. Hal ini dibuktikan dengan nilai hasil pengujian yang lebih unggul dan mengalami peningkatan yang stabil pada benda uji dengan menggunakan proses *curing*, sedangkan benda uji tanpa menggunakan proses *curing* mendapatkan hasil yang kurang stabil dan lebih rendah dibandingkan dengan benda uji menggunakan proses *curing*.

Saran

Berdasarkan dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, timbul saran yang harus disampaikan antara lain adalah:

1. Pada proses pencampuran bahan benda uji diharapkan lebih diperhatikan lagi agar mendapatkan campuran yang homogen, karena dapat berpengaruh pada hasil pengujian.
2. Pada proses *curing* diharapkan untuk lebih memperhatikan pengaturan suhu agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan faktor air semen yang optimum untuk campuran *paving block geopolymer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Andi Arham. 2009. *Strength and Durability Properties of Alkali Activated Slag and Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Melbourne: School of Civil, Environmental and Chemical Engineering RMIT University
- Andoyo. 2006. Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air Pada Mortar. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Anonim. 1996. SNI 03-0691-1996 tentang Bata Beton (*Paving Block*). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- ASTM Standard C128-01. 2003. *Standard Test Method for Density, Relative Density*

- (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. West Conshocken
- ASTM C 191-08. 2008. *Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by vicat needle*. West Conshohocken
- Daniel L.Y. Kong, Jay G. Sanjayan. 2010. *Effect of elevated temperatures on geopolymer paste, mortar and concrete*. Australia: Elsevier.
- Djwantoro Hardjito, Steenie E. Wallah, Dody M.J. Sumajouw, and B.V. Rangan. 2004. *Factors Influencing The Compressive Strength Of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Perth: Faculty of Engineering and Computing, Curtin University of Technology
- Frick, Heinz dan Koesmartadi, Ch. 1999. Ilmu Bahan Bangunan. Semarang: Kanisius.
- Mahmud, Joni dan Nurzal. 2013. Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving. Padang: Teknik Mesin – Institut Teknologi Padang.
- Manuahe, Riger. Dkk. 2014. “Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)”. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2 (6): hal (277-282)
- Navid Ranjbar, Mehdi Mehrali, U. Johnson Alengaram, Hendrik Simon Cornelis Metselaar, Mohd Zamin Jumaat. 2014. *Compressive strength and microstructural analysis of fly ash/palm oil fuel ash based geopolymer mortar under elevated temperatures*. Malaysia: Elsevier.
- Nath, P. and Sarker, P.K. 2012. *Geopolymer concrete for ambient curing condition*. Australia : Curtin University
- Nath, P. and Sarker, P.K. 2014. “Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition”. *Construction and Building Materials* 66 : pp (163-171)
- SK SNI-S-04-1989-F. (1989). Spesifikasi Agregat Sebagai Bahan Bangunan A (Bahan Bangunan Bukan Logam)
- Xueying Li, Zheng Wang and Zhenzhen Jiao. 2013. *Influence of Curing on the Strength Development of Calcium-Containing Geopolymer Mortar*. China: School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology.
- Wenno, Rudolfo dan Steenie E. Wallah, Ronny Pandaleke. 2014. Kuat Tekan Mortar Dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) Asal PLTU Amurang Sebagai Substitusi Parsial Semen. Manado: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado
- Wardhono, Arie, David. Law dan Thomas C.K. Molyneaux. 2015. *Long Term Performance of Alkali Activated Slag Concrete*. Journal of Advanced Concrete Technology, March 2015, Vol. 13, No. 3, page 187 – 192.
- Wardhono, Arie, David. Law dan Anthony Strano, 2015. *The Strength of Alkali-Activated Slag/ Fly Ash Mortar Blends at Ambient Temperature*. Journal of Procedia Engineering, Vol. 125, page 650 – 656.
- Wardhono, Arie, David. Law dan Thomas C.K. Molyneaux. 2016. *Flexural Strength of Low Calcium Class F Fly Ash – Based Geopolymer Concrete in Long Term Performance*. Journal of Materials Science Forum, Vo.841, page 104 – 110.
- Z. Zuhua, Y. Xiao, Z. Huajun, C. Yue. 2009. *Role of water in the synthesis of calcined kaolin-based geopolymer*. China: Elsevier.