

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 02	NOMER: 02	HALAMAN: 211 - 218	SURABAYA 2017	ISSN: 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. H. Karyoto, M.S
2. Gde Agus Yudha Prawira A, S.T., M.T.
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Ari Widayanti, S.T,M.T
5. Agus Wiyono,S.Pd, M.T
6. 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 SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN DAN POROSITAS	
<i>Abdul Ra'uf Alfansuri, Arie Wardhono,</i>	01 – 11
ANALISA SISA MATERIAL DAN PENANGANANNYA PADA PROYEK APARTEMEN ROYAL CITYLOFT SURABAYA	
<i>M. Alfin Ahfiyatna, Didiek Purwadi,</i>	12 – 23
PENGARUH PENYIRAMAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS PAVING STONE GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG	
<i>Raditya Eko Kurniawan, Arie Wardhono,</i>	24 – 35
STUDI POLA OPERASI WADUK WONOREJO UNTUK PLTA	
<i>Pandra Christanty Suharto, Kusnan,</i>	36 – 41
ANALISIS NILAI PRODUKTIVITAS PEKERJAAN PEMASANGAN DINDING PRECAST PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT	
<i>Fani Febri Dewi Utami, Mas Suryanto HS,</i>	42 – 54
PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA PEMASANGAN BEKISTING DAN FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHINYA PADA PROYEK GEDUNG BERTINGKAT DI WILAYAH SURABAYA	
<i>Rizky Astri Widyawati, Sutikno,</i>	55 – 76
ANALISIS PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA MODEL K-TRUSS	
<i>Ndaru Kusumo, Karyoto,</i>	77 – 86
MODEL HUBUNGAN ANTARA KERUSAKAN PERKERASAN LENTUR DAN KOMPOSISI LALU LINTAS PADA JALAN PROVINSI DI KABUPATEN MOJOKERTO (Studi Kasus: Jl. Raya Mlirip, Jl. Magersari-Ngares Kidul, Jl. Raya Gempolkerep)	
<i>Rizki Inkasari, Purwo Mahardi,</i>	87 – 97

PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH ASBES SEBAGAI BAHAN TAMBAH CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELATISITAS BETON	
<i>Liga Triswasono, Sutikno,</i>	98 – 103
PENGOPTIMALAN PEMASANGAN JARAK ANTAR BAUT TERHADAP TERJADINYA <i>CURLING</i> PADA SAMBUNGAN PELAT	
<i>Hendry Yudha Pranata, Arie Wardhono,</i>	104 – 111
ANALISA PERBANDINGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM) DAN SISTEM GANDA PADA PERENCANAAN ULANG HOTEL ICON GRESIK TERHADAP LUASAN TULANGAN BALOK DAN KOLOM	
<i>Yasher Arafat, Sutikno,</i>	112 – 117
PENGARUH PEMANFAATAN LIMBAH GAS ASETILEN SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN BATU BATA DITINJAU DARI KUALITAS SESUAI SNI 15-2094-2000	
<i>Mohamad Nisfi Fazar Romadhon, Arie Wardhono,</i>	118 – 124
PENGOPTIMALISASIAN PEMASANGAN BAUT PADA TEPI SAMBUNGAN PELAT TARIK	
<i>Nurul Burhanudin, Arie Wardhono,</i>	125 – 131
PENGARUH VARIASI BENTANG PANJANG BALOK STRUKTUR BETON TERHADAP KINERJA STRUKTUR DENGAN ANALISIS <i>PUSHOVER</i> BERDASARKAN ATC-40 DAN SNI 1726:2012	
<i>Mohamad Sahal Rifa'i Chairul Aziz, Arie Wardhono,</i>	132 – 140
PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT GESER MORTAR TANPA SEMEN BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN SODIUM HIDROKSIDA 12 MOLAR PADA APLIKASI PASANGAN BATA MERAH	
<i>Nova Bima Prayogo, Arie Wardhono,</i>	141 – 149
ANALISA PERHITUNGAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DIBANDINGKAN DENGAN DAYA DUKUNG <i>HYDRAULIC JACKING SYSTEM</i> PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG B LPMP PROVINSI JATIM	
<i>Akbar Setyo Romadhoni, Machfud Ridwan,</i>	150 – 160

PERENCANAAN ULANG JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA DENGAN VARIASI JARAK KABEL PENGGANTUNG DAN JARAK GELAGAR MELINTANG (STUDI KASUS JEMBATAN BATOQ MALEQ KABUPATEN MAHAKAM ULU)

Miftakhul Huda, Mochamad Firmansyah S., 161 – 165

PERHITUNGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN METODE *CABLE STAYED* DENGAN VARIASI KABEL STRUKTUR PEMIKUL UTAMA (STUDI KASUS JEMBATAN GANTUNG BATOQ MALEQ KABUPATEN MAHAKAM ULU)

Timur Prahnalaga Wira, Mochamad Firmansyah S. 166 – 171

PERBANDINGAN BIAYA PERENCANAAN PERKERASAN KAKU ANTARA METODE BINA MARGA DAN AASHTO PADA RUAS JALAN GONDANG-LENGKONG KABUPATEN MOJOKERTO

Rindah Intansari Mukti, Purwo Mahardi, 172 – 176

PENGARUH BENTANG KOLOM TERHADAP KEKAKUAN STRUKTUR PADA HOTEL DIRENCANAKAN DI BANJARBARU DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FLAT SLAB-DROP PANEL*

Kurnianingsih, Bambang Sabariman, 177 – 185

PENGENDALIAN MUTU PRODUK *PRECAST* DENGAN MENGGUNAKAN METODE SPC (*STATISTICAL PROCESS CONTROL*) DI PT. WASKITA *PRECAST PLANT* SIDOARJO

Nur Aini, Mas Suryanto H.S., 186 – 195

OPTIMALISASI DESAIN STRUKTUR JEMBATAN KUTAI KARTANEGARA DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE STAYED*

Andi Dzikril Chakim, Suprpto, 196 – 200

PENGARUH JARAK TEPI PELAT SAMPING SAMBUNGAN *SELF DRILLING SCREW (SDS)* TERHADAP KUAT TARIK PADA BATANG TARIK BAJA RINGAN

Bara Dwi Graha, Mochamad Firmansyah, 201 – 210

PENGARUH RASIO SODIUM HIDROKSIDA DENGAN SODIUM SILIKAT PADA MORTAR *GEOPOLYMER* BERBAHAN DASAR ABU TERBANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT GESER PADA APLIKASI SPESI BATU BATA

Novi Salwatul Ais, Arie Wardhono, 211 – 218

PENGARUH RASIO SODIUM HIDROKSIDA DENGAN SODIUM SILIKAT PADA MORTAR GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT GESER PADA APLIKASI SPESI BATU BATA

Novi Salwatul Ais

S1 Teknik Sipil, Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: novisalwatulais1993@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan semen sebagai bahan pembuatan beton memberi dampak negatif pemanasan global (*global warming*) karena pada saat proses produksi semen menghasilkan gas CO₂. Seiring dengan munculnya isu pemanasan (*global warming*) dan hadirnya penerapan konsep pembangunan hijau (*green building*) dalam bidang rekayasa bahan material. Pembuatan mortar *geopolymer* secara umum dilakukan dengan menggunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan dasar utamanya. Akan tetapi abu terbang (*fly ash*) tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, untuk itu diperlukan alkali aktivator yaitu sodium hidroksida dan sodium silikat untuk membantu proses polimerisasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio sodium hidroksida dengan sodium silikat terhadap kuat tekan dan kuat geser mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang, sehingga didapatkan komposisi campuran mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang yang memenuhi persyaratan kuat tekan dan kuat geser sebagai mortar. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan nilai optimum modulus alkali terhadap kuat tekan dan kuat geser pada mortar *geopolymer* sebesar 1,5 variasi M-03 dengan nilai kuat tekan optimumnya 35,451 MPa dan nilai kuat geser sebesar 0,719 MPa.

Kata Kunci : Abu Terbang, Alkali Aktivator, , *Geopolymer* , Kuat Tekan, Kuat Geser, Modulus Alkali, Mortar.

Abstract

The use of cement as concrete material give negative impact of global warming because during the process production of cement produce CO₂ gas, along with the emergence of global warming and presence of green building in the material building. Manufacturing the geopolymer mortar generally use fly ash as the main base material. However, fly ash does not have ability to bind as well as cement, it is necessary for the alkaline activators are sodium hydroxide and sodium silicate to aid the polymerization process. The purpose of this study was to determine the effect of the ratio of sodium hydroxide with sodium silicate of compressive strength and shear strength of fly ash based geopolymer mortar, so we get a mix mortar composition of fly ash-based geopolymer which meets the requirements of the compressive strength and shear strength as a mortar. Based on the research that has been done, the optimum value alkali modulus of compressive strength and shear strength in geopolymer mortar is variation of 1.5 M-03 with the optimum value of 35.451 MPa of compressive strength and shear strength of 0.719 MPa.

Keywords: Alkali Activators, Alkali Modulus, Compressive Strength, Fly Ash, Geopolymer, Mortar, Shear Strength.

PENDAHULUAN

Sejauh ini beton merupakan salah satu bahan struktur yang paling sering digunakan dalam dunia konstruksi bangunan. Hal ini dikarenakan beton mempunyai beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan bahan-bahan struktur lainnya. Kita kenal beton sebagai material bangunan paling populer, tersusun dari komposisi utama batuan (agregat), air, dan semen *Portland* atau yang biasa kita sebut dengan beton konvensional. Beton menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan raya, dibawah tanah seperti pondasi.

Beton dilihat dari segi kuantitas, menjadi material yang paling banyak digunakan manusia setelah air. Menurut Metha (1997) dalam skripsi Riger Manuabe (2014) konsumsi dunia untuk beton sekitar 8,8 juta ton setiap tahun, dan kebutuhan material ini akan meningkat

dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana dasar manusia. Dari banyaknya penggunaan beton muncul beberapa dampak negatif, salah satunya adalah pemanasan global (*global warming*) dari penggunaan semen. Semen merupakan bahan yang dibuat dengan cara membakar secara bersamaan campuran *calcareous* (batu gamping) dan *argillaceous* (batuan yang mengandung alumina) pada suhu 1555°C sampai menjadi *klinker* pada proses ini menghasilkan karbon dioksida yang dapat mencemari lingkungan.

Menurut *International Energy Authority: World Energy Outlook*, jumlah karbon dioksida yang dihasilkan tahun 1995 adalah 23,8 miliar ton. Berdasarkan data tersebut produksi semen portland menyumbang tujuh persen dari keseluruhan karbondioksida yang dihasilkan dari berbagai sumber. Jika tidak ada perubahan berarti dalam teknologi produksi semen atau didapatkan bahan pengganti semen, tahun 2010 diperkirakan total produksi

semen di dunia mencapai angka 2,2 miliar ton (Malhotra, 1999).

Untuk mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan dan memperbaiki problem durabilitas pada material beton yang menggunakan semen, maka diperlukan material lain sebagai pengganti semen untuk digunakan pada pembuatan beton. Prof. Joseph Davidovits menamakan temuannya *geopolymer* karena merupakan sintesa bahan-bahan alam *non organic* lewat proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material *geopolymer* ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silica dan alumina. Unsur-unsur ini banyak didapati, diantaranya pada material hasil sampingan industri, seperti misalnya abu terbang dari sisa pembakaran batu bara. Proses polimerisasi yang terjadi di dalam beton geopolimer meliputi reaksi kimia yang terjadi antara alkalin dengan mineral $Si - Al$ sehingga menghasilkan rantai polimeric tiga – dimensi dan ikatan struktur $Si - O - Al - O$ yang konsisten (Davidovits, 1999).

Dalam pembuatan beton geopolimer, kesulitan yang dihadapi pada saat pengecoran adalah waktu ikat dan workabilitas yang rendah. Beton geopolimer memiliki waktu pengikatan yang sangat cepat serta workabilitas yang rendah karena tingginya daya serap terhadap air (Triwulan, dkk, 2007). Namun kendala utama *geopolymer* adalah pada proses perawatannya. Proses perawatan *geopolymer* membutuhkan suhu yang tinggi untuk mempercepat reaksi *polymer* yang terjadi selama proses pengerasan (Wardhono et al. 2012). Rendahnya kandungan calcium (Ca) pada *geopolymer* menyebabkan proses pengerasan yang lambat. Namun hal ini dapat diatasi dengan menggunakan bahan tambahan yang memiliki kandungan Ca yang cukup tinggi.

Abu terbang sebagai bahan campuran pembuatan beton telah dikenal secara meluas di bidang teknik sipil, namun demikian pemakaiannya masih sangat terbatas maksimal hanya 25% dari total pemakaian dalam jumlah yang lebih besar maka akan menyebabkan gangguan pada sifat-sifat mekanis beton seperti creep, susut dan sebagainya dan itu sangat tidak dikehendaki oleh para insinyur teknik sipil. Dengan demikian perlu dilakukan upaya yang lain lagi agar pemanfaatan abu terbang dapat dilakukan secara maksimal, yaitu dengan jalan membangkitkan sifat reaktif unsur selain silica oksida dengan jumlah yang cukup besar terdapat pada abu terbang seperti alumina. Untuk menimbulkan sifat reaktif pada silica oksida dan alumina secara bersama diperlukan suatu bahan tertentu sebagai *activator* sehingga kedua unsur tersebut dapat saling berkaitan satu terhadap yang lainnya dan tidak berdiri sendiri (Widodo, 2009).

Berdasarkan studi pengaruh modulus alkali dan kadar aktivator dalam pembuatan mortar *geopolymer* dengan variabel bebas modulus alkali sebesar 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 dengan molaritas 8 M dan 10 M dan abu terbang sebesar 75%. Dari penelitian tersebut menghasilkan kuat tekan mortar tertinggi terjadi pada penggunaan modulus alkali 2 molaritas 10 M yang mempunyai kuat tekan diatas 25 MPa (Januarti,2007)

Pada penelitian ini diselidiki pengaruh rasio sodium hidroksida dengan sodium silikat terhadap kuat tekan dan kuat geser dengan menggunakan molaritas 12 M, sehingga diperoleh komposisi campuran beton *geopolymer* yang memenuhi persyaratan.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas adapun rumusan masalah yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh rasio sodium hidroksida dengan sodium silikat terhadap kuat tekan mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang?
2. Bagaimana pengaruh rasio sodium hidroksida dengan sodium silikat terhadap kuat geser mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang?
3. Berapa standar optimum penambahan SS dan SH pada pembuatan mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang ?

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini berdasarkan uraian rumusan masalah diatas antara lain:

1. Untuk mengetahui pengaruh rasio sodium hidroksida dengan sodium silikat terhadap kuat tekan mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang.
2. Untuk mengetahui pengaruh rasio sodium hidroksida dengan sodium silikat terhadap kuat geser mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang.
3. Untuk mengetahui standar optimum penambahan SS dan SH pada pembuatan mortar *geopolymer* berbahan dasar abu terbang.

Diharapkan dalam penelitian ini dapat diperoleh manfaat:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Memberikan pengetahuan tentang mortar *geopolymer* terutama variasi abu terbang (*fly ash*) dan kapur sebagai bahan agregat halus pembuatan mortar *geopolymer*.
 - b. Bagi kalangan akademisi diharapkan dapat menumbuhkan dan memperkaya inovasi-inovasi terhadap pemanfaatan limbah Pembangkit Listrik terutama *fly ash* secara maksimal. Hal ini juga menjadi dasar untuk dilakukan penelitian lanjutan pada beton mutu tinggi dan beton untuk struktur ringan.
 - c. Memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu bahan dan struktur.

2. Manfaat Praktis
 - a. Menambah alternatif bahan penyusun mortar *geopolymer* sebagai bahan tambah agregat halus lain yang berfungsi mengatasi proses pengerasan yang lambat.
 - b. Mengurangi limbah PLTU dan memberikan solusi terhadap polusi udara yang diakibatkan proses pembuatan *Portland cement*.
 - c. Dengan kuat tekan mortar yang memenuhi standar, *mix design* mortar *geopolymer* dengan abu terbang (*fly ash*) yang diuji bisa diterapkan pada struktur pekerjaan bangunan.
 - d. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diinformasikan dan disebarluaskan sehingga dapat dimanfaatkan dan digunakan oleh praktisi, masyarakat dan pemerintah untuk struktur pekerjaan bangunan.

Dalam penelitian ini, berikut batasan – batasan yang perlu diperhatikan adalah:

1. Menggunakan mutu beton K225
2. Cairan *alkaline activator* yang digunakan yaitu kombinasi cairan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Sodium Hidroksida (NaOH).
3. Menggunakan molaritas 12M.
4. Untuk perbandingan *Water Solid Ratio* $W/S = 0,35$.
5. Menggunakan *fly ash* tipe C yang diambil dari PLTU Paiton.
6. Benda uji kuat tekan yang digunakan berbentuk kubus ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dengan sampel 28 buah kubus mortar beton dengan 7 variasi yang masing-masing berjumlah 4 buah.
7. Sedangkan benda uji kuat geser spasi menggunakan bahan bantu bata merah yang umum digunakan yaitu batu bata merah negara (220 mm x 100 mm x 50 mm) dengan luas bidang geser spasi 50 mm x 10 mm tebal ± 10 mm dengan total sampel 28 buah bata merah yang disusun membentuk huruf Y dengan 7 variasi yang masing-masing berjumlah 4 buah.
8. Pemeriksaan kuat tekan mortar dan kuat geser spasi pasangan bata dilakukan pada umur 28 hari.

KAJIAN PUSTAKA

Beton *geopolymer* adalah campuran beton di mana penggunaan material semen portland sebagai bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*rise husk ash*), dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan aluminium (Davidovits, 1997). *Geopolymer* merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi.

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus

(pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Adapun macam mortar adalah :

- a. Mortar lumpur (mud mortar) yaitu mortar dengan bahan perekat tanah.
- b. Mortar kapur yaitu mortar dengan bahan perekat kapur.
- c. Mortar semen yaitu mortar dengan bahan perekat semen.

Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik (SNI 03-6414-2002). Abu terbang (*fly Ash*) memiliki sifat pozzolan dengan kandungan silikat dan aluminat yang tinggi sehingga dapat bereaksi dengan air dan kapur padam dan dapat berubah menjadi massa padat yang tidak larut dalam air (Tjokrodinulyo, 1996: 48).

Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai *alkaline activator* (Hardjito, et.al, 2004). Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur - unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

Adapun penyusun mortar *geopolymer* sebagai berikut:

1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash termasuk bahan pozzolan buatan. Karena sifatnya yang pozzolanik, partikel halus tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air sehingga membentuk senyawa yang bersifat mengikat.

2. Agregat Halus (Pasir)

Pasir adalah agregat halus yang berfungsi sebagai pengisi pori-pori dalam campuran adukan mortar. Sifat-sifat pasir yang dipergunakan sangat mempengaruhi kualitas adukan mortar. Bentuk dari butiran pasir mempengaruhi proses pengikatan, maka pasir yang dipakai sebaiknya harus bersih dari lumpur, tanah liat, bahan-bahan lainnya.

3. Alkali Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

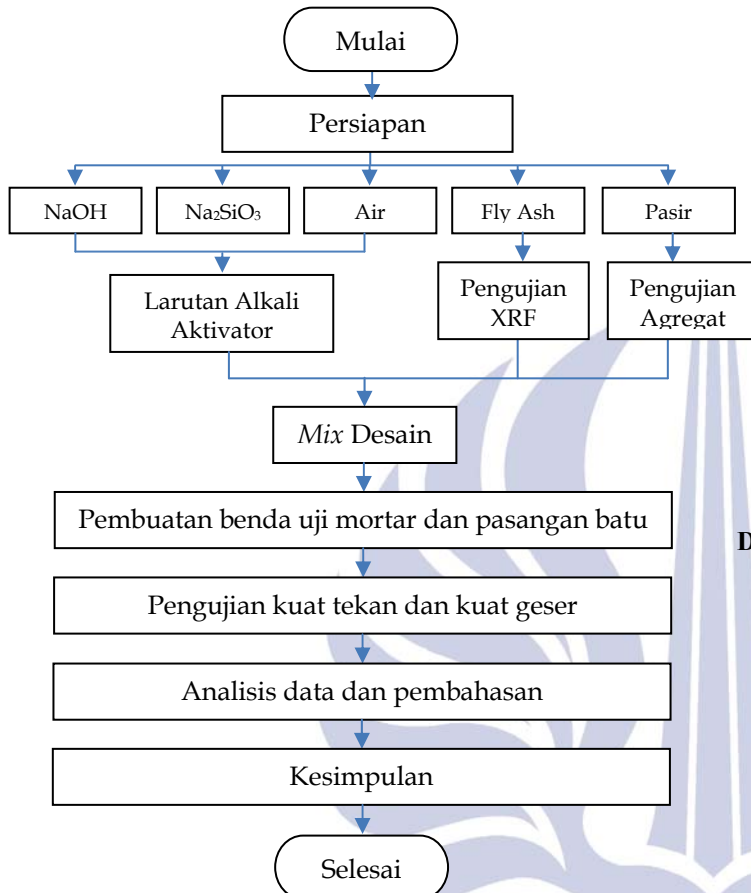
Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur - unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian yang digunakan jenis penelitian eksperimental yaitu penelitian ini berasal dari beberapa sumber yang sudah ada melalui jurnal ilmiah untuk selanjutnya dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan merancang komposisi

penambahan kapur substitusi abu terbang (*fly ash*) pada mortar tanpa semen (*geopolymer concret*) sebagai bahan pengganti Portland cement. Penelitian ini dilakukan secara bertahap yang ditunjukkan pada *flowchart* rancangan penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian eksperimental benda uji sekaligus uji kuat tekan mortar kubus ukuran 5 x 5 x 5 dan kuat geser spesi dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan dan Beton Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

Tabel 1. Rancangan Prosentase Sampel alkali aktivator dan abu terbang

No.	Mix	Jumlah	Material Penyusun		
			PC	AB	SS/SH
1	Control	6	1	0	0
2	M-01	6	0	1	1
3	M-02	6	0	1	1,25
4	M-03	6	0	1	1,5
5	M-04	6	0	1	2
6	M-05	6	0	1	2,5
7	M-06	6	0	1	3

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel yang menjadi sebab terjadinya perubahan atau mempengaruhi timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi campuran sodium silikat dan sodium hidroksida.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan dan permeabilitas beton *geopolymer*.

3. Variabel kontrol (*Control Variable*)

Variabel kontrol adalah variabel yang secara teoritis mempengaruhi hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, tetapi tidak dapat diamati dan diukur. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah agregat halus (pasir), tipe abu terbang, air, kapur dan abu terbang.

D. Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik eksperimen, yaitu mengumpulkan data dengan cara menguji atau mengukur objek yang diuji selanjutnya mencatat data-data yang diperlukan. Adapun parameter yang diuji adalah sebagai berikut yang selanjutnya dicatat hasil pengujianya:

1. Kuat Tekan

Dalam mengumpulkan data kuat tekan sebelumnya, mencatat lokasi pembuatan mortar, tanggal pembuatan mortar, tanggal pengetesan, nama benda uji dan berat benda uji dalam satuan kilogram (Kg) sebagai data informasi awal. Selanjutnya, dilakukan pencatatan data beban (P) dalam satuan Newton (N), luas permukaan (A) dalam satuan mm² dan Tegangan (σ) dalam satuan N/mm².

2. Kuat Geser

Dalam pengumpulan data kuat geser, diperlukan pencatatan informasi awal berupa data lokasi pembuatan spesi, tanggal pembuatan spesi, tanggal pengetesan, nama benda uji, ukuran lebar dan tinggi benda uji (mm²) dan berat benda uji dalam satuan kilogram (Kg). Selanjutnya, dilakukan pencatatan data beban (P) dalam satuan Newton (N), luas permukaan (A) dalam satuan mm² dan kuat geser (f_{vh}) dalam satuan N/mm².

E. Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah statistika deskriptif kuantitatif.

Teknik analisis data ini, dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari eksperimen, dimana hasilnya berupa data kuantitatif yang akan dibuat dalam bentuk tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafis.

Langkah selanjutnya adalah mendeskripsikan atau menggambarkan data tersebut sebagaimana adanya dalam bentuk kalimat yang mudah dibaca, dipahami, dan dipresentasikan sehingga pada intinya adalah sebagai upaya memberi jawaban atas permasalahan yang diteliti. (Sugiyono, 2007:147).

Tabel dan grafik yang telah dibuat kemudian dilakukan analisis dan dijabarkan sehingga akan diperoleh hubungan dari data tersebut diantaranya:

1. Pengaruh penambahan alkali aktivator terhadap kuat tekan dan kuat geser spesi mortar tanpa semen (*geopolymer*) yang terjadi dengan cara:
 - a. Pengaruh variasi prosentase *Alkaline activator* terhadap kuat tekan dan kuat geser spesi bata merah yang terjadi dengan cara: Analisis grafik pengaruh hubungan prosentase *Alkaline activator* dengan kuat tekan ($f'c$). untuk mengetahui kuat tekan digunakan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

Keterangan:

σ : Kuat tekan beton (N/mm^2).

P : beban maksimum (N)

A : Luas penampang benda uji (mm^2)

- b. Menurut SNI-03-4166-1996, pengujian kuat geser pasangan bata dilakukan dengan menggunakan benda uji yang tersusun dari 3 (tiga) buah bata yang nilai kuat geser (f_vh) dianalisa dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$f_{vh} = \frac{P_u}{2bh}$$

Dimana:

f_{vh} = Kuat lekat pasangan (N/mm^2)

P_u = Beban maksimum benda uji (N)

b = lebar bidang lekatan (mm)

h = tinggi bidang lekatan (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat Halus

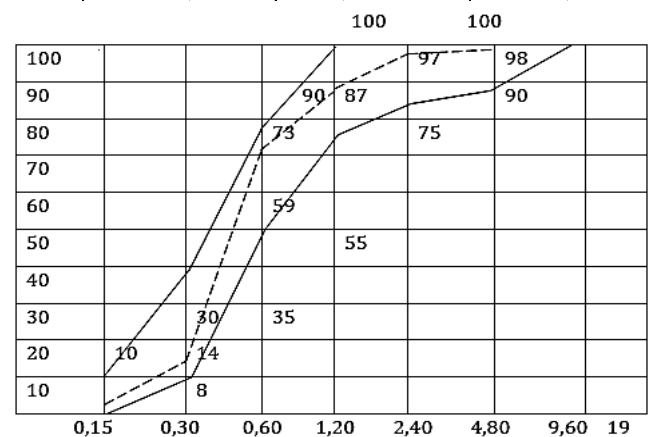
Pengujian material yang dilakukan dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat dan karakteristik material-material yang digunakan

dalam campuran mortar yang disesuaikan pada standar yang ada, seperti SNI dan ASTM.

Hasil dari pengujian agregat halus disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2 Analisa ayakan Pasir

Ayakan	Tertinggal		Komulatif	
No	Gram	%	Tertinggal	Lolos
4	10	2	2	98
8	5	1,2	3,2	96,8
16	48	9,6	12,8	87,2
30	73	14,6	27,4	72,6
50	295	59	86,4	13,6
100	55	11	97,4	2,6
Pan	13	2,6		0,2
Jumlah	499	100	229,2	



Gambar 2 Grafik Analisa Ayakan Pasir

Hasil dan pembahasan dijelaskan pada uraian berikut:

1. Berat pasir kering oven $A = 246$ gram
2. Berat pasir kering permukaan jenuh = 250 gram
3. Berat piknometer + air suling $B = 339$ gram
4. Berat piknometer + Air + Pasir $C = 498$ gram
5. Berat jenis SSD
$$= \frac{250}{339 + 250 - 498}$$

 $= 2,75 \text{ gram / cc}$
6. Berat jenis Kering oven
$$= \frac{246}{339 + 250 - 498}$$

 $= 2,7 \text{ gram/cc}$
7. Berat jenis semu
$$= \frac{246}{339 + 246 - 498}$$

 $= 2,83 \text{ gram/cc}$
8. Penyerapan
$$= \frac{250 - 246}{246} \times 100 \%$$

 $= 1,63 \%$

Berat Jenis kering permukaan jenuh = 2,50 gram/cc ini menunjukkan bahwa pasir cukup baik karena mempunyai berat jenis antara 2,0 – 3,0

gram/cc dan penyerapan 1,63 % cukup baik karena dibawah 5%.

B. Hasil Pengujian Abu Terbang (Fly Ash)

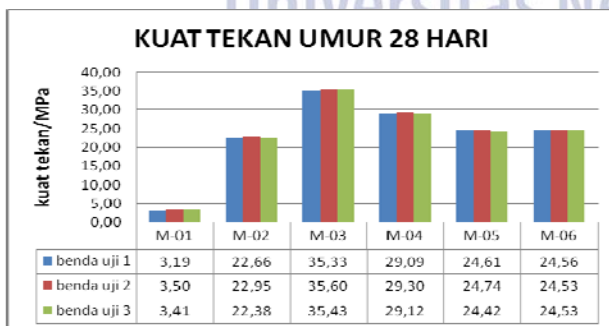
Pengujian abu terbang dimaksudkan untuk mengetahui kandungan kimia yang terkandung di dalam abu terbang tersebut. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang (UM) menggunakan metode *X-Ray Flourecence* (XRF).

Tabel 3 Hasil Abu Terbang (*fly ash*) dengan XRF

No.	Komponen	Kadar (%)
1	Al	4,9 +/- 0,2
2	Si	13,4 +/- 0,2
3	Eu	0,47 +/- 0,12
4	K	1,4 +/- 0,01
5	Ca	18,3 +/- 0,08
6	Ti	1,21 +/- 0,007
7	V	0,05 +/- 0,009
8	Cr	0,11 +/- 0,002
9	Mn	0,55 +/- 0,02
10	Fe	54,62 +/- 0,15
11	Ni	0,16 +/- 0,008
12	Cu	0,093 +/- 0,003
13	Zn	0,06 +/- 0,003
14	Sr	1,00 +/- 0,04
15	Rb	0,28 +/- 0,008
16	Mo	2,5 +/- 0,02
17	Ba	0,47 +/- 0,06
18	Re	0,1 +/- 0,03

C. Hasil Uji Kuat Tekan

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan kubus mortar *geopolymer* persatuan luas. Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji kubus mortar dengan ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm. Berikut ini adalah hasil uji tes kuat tekan mortar *geopolymer* umur 28 hari:



Gambar 3 Diagram Batang Nilai Kuat Tekan Mortar *Geopolymer* Umur 28 Hari

Dari gambar 3 diatas, menunjukan hasil kuat tekan kubus mortar *geopolymer* pada umur 28 hari.

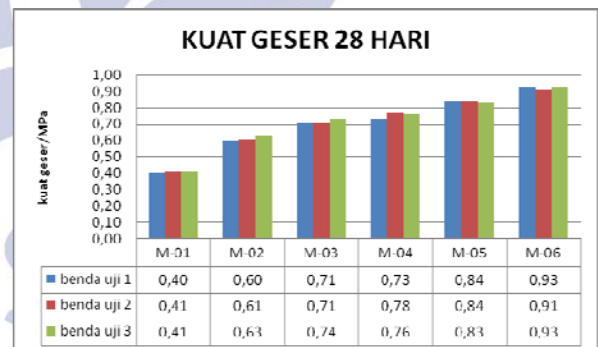
Pada kuat tekan umur 28 hari semua variasi yang mengalami kenaikan dari umur mortar, sedangkan untuk variasi yang memiliki kuat tekan paling tinggi dari semua variasi yaitu M-03 sebesar 35,451 MPa.

Dari data diatas dapat dianalisa bahwa dari modulus alkali 1 sampai dengan modulus alkali 1,5, rasio kuat tekan terhadap variasi modulus alkali meningkat. Namun pada modulus alkali yang lebih besar, yaitu 2 ; 2,5 dan 3, rasio kuat tekan terhadap variasi modulus alkali turun secara signifikan. Kuat tekan optimum diperoleh pada modulus alkali 1,5.

Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa didapatkan nilai kuat tekan optimum pada penambahan modulus alkali 2 dikarenakan pada prosentase tersebut terjadi proses polimerisasi yang sempurna dari unsur-unsur kimia dalam kandungan mortar *geopolymer*, sesuai dengan tujuan awal penelitian bahwa mencari rasio penambahan sodium silikat dan sodium hidroksida yang tepat untuk mempercepat proses pengikatan yang terjadi pada kandungan unsur kimia *fly ash*

D. Hasil Uji Kuat Geser

Pengujian ini dilakukan pengukuran luasan geser spesi mortar pada pasangan batu bata dengan menggunakan jangka sorong. Pengujian ini telah disesuaikan berdasarkan SNI-03-4166-1996. Berikut ini adalah hasil penelitian umur 28 hari.



Gambar 4 Diagram Nilai Kuat Geser Mortar *Geopolymer* Umur 28 Hari

didas dapat dilihat bahwa untuk spesi mortar *geopolymer* M-01 diperoleh nilai kuat geser (*fvh*) sebesar 0,408 Mpa. Untuk spesi mortar *geopolymer* M-02 diperoleh nilai kuat geser (*fvh*) sebesar 0,612 MPa. Untuk spesi mortar *geopolymer* M-03 diperoleh nilai kuat geser (*fvh*) sebesar 0,719 MPa. Mortar *geopolymer* M-04 diperoleh nilai kuat geser (*fvh*) sebesar 0,757 MPa. Mortar *geopolymer* M-05 diperoleh nilai kuat geser (*fvh*) sebesar 0,837 MPa, dan untuk yang terakhir mortar *geopolymer* M-06 diperoleh nilai kuat geser (*fvh*) sebesar 0,921 MPa. hasil kuat geser Kontrol (A28) tidak dimasukkan ke dalam

grafik karena merupakan beton biasa (kontrol), tanpa ada penambahan alkali aktifator maupun *fly ash*.

Berdasarkan uraian hasil uji kuat geser diatas dapat dilihat bahwa dari penambahan modulus alkali 1 sampai dengan modulus alkali 3, nilai kuat geser terus meningkat. Hal ini disebabkan karena proses kelekatan yang terjadi antara spesi mortar dengan batu bata membutuhkan waktu ikat awal yang lebih cepat dibandingkan pada uji kuat tekan mortar sebelumnya yang hanya membutuhkan penambahan modulus alkali 1,5 dengan waktu ikat awal yang relative lebih lambat dibandingkan dengan penambahan modulus alkali 3 yang memiliki kandungan SiO₂ yang relatif cukup tinggi sehingga mempercepat reaksi polimer yang terjadi selama proses pengerasan, sehingga sesuai dengan tujuan awal penelitian untuk mengetahui seberapa besar penambahan modulus alkali untuk nilai kuat geser optimumnya. Karena hasil uji yang terus meningkat, sehingga dilakukan perhitungan prosentase perbandingan kekuatan geser beton (Vc) antara kuat tekan dan kuat geser untuk mengetahui nilai yang paling optimum dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = \left[\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] b_w d$$

Keterangan :

Vc : kekuatan geser beton (N)

f'c : kuat tekan beton (Mpa)

bw : lebar (mm)

d : tinggi (mm)

Tabel 4 Perbandingan Vc Pada Kuat Tekan dan Kuat Geser

variasi	Vc (N) kuat tekan	rata-rata	%	Vc (N) kuat geser	rata-rata	%
3	2566	2560,32	27,87	760	720,70	24,33
	2581			694		
	2534			708		
4	2361	2344,30	25,52	732	722,21	24,38
	2356			707		
	2316			728		
5	2184	2178,98	23,72	728	731,82	24,71
	2211			755		
	2142			712		
6	2085	2103,94	22,90	795	787,11	26,58
	2046			787		
	2181			779		
total		9187,54	100		2961,83	100

Dari hasil perbandingan kekuatan geser (Vc) diatas dapat dilihat bahwa prosentase Vc kuat geser pada variasi

3, 4 dan 5 hampir sama yaitu 24,33% ; 23,38% dan 24,71%, sehingga untuk nilai optimum pengujian kuat geser diambil prosentase terkecil yaitu variasi 3 dengan benda uji mortar M-03 dengan nilai 0,719 Mpa dan nilai tersebut melebihi nilai kuat geser control mortar tanpa *geopolymer*.

PENUTUP

A. Simpulan

Dari hasil penelitian, analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan sodium hidroksida dan sodium silikat sebagai aktivator abu terbang (*fly ash*) pada mortar *geopolymer* jika ditinjau dari nilai kuat tekannya mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Penambahan modulus alkali dilakukan pada penelitian ini yaitu sebesar 1 ; 1,25 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 dan 3 mengacu pada penelitian sebelumnya. Jika dilihat dari grafik kuat tekan maka hasil yang paling optimum didapatkan diantara ketujuh variasi campuran adalah variasi campuran M-03 yang memiliki komposisi 100% abu terbang dan modulus alkali 1,5. Dengan hasil kuat tekan paling tinggi yaitu sebesar 35,451 MPa dengan mutu beton yang ditargetkan awalnya K-225 atau f'c' 19,30 MPa.
2. Nilai kuat geser mortar *geopolymer* dengan penambahan sodium hidroksida dan sodium silikat sebagai aktivator abu terbang (*fly ash*) sebesar 1 ; 1,25 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 dan 3, pada umur 28 hari adalah 0,408 MPa, 0,612 MPa, 0,719 MPa, 0,757 MPa, 0,837 MPa dan 0,921 MPa. Pengaruh penambahan modulus alkali terhadap nilai kuat geser pada *mortar geopolymer* terus meningkat secara signifikan.
3. Nilai optimum penambahan alkali aktivator pada pembuatan mortar *geopolymer* untuk kuat tekan dan kuat geser terdapat pada penambahan modulus alkali 1,5 variasi M-03 dengan nilai kuat tekan optimumnya sebesar 35,451 MPa dan 0,719 Mpa untuk nilai kuat gesernya.

B. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari penelitian ini, maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian mortar *geopolymer* dengan menggunakan larutan alkali activator yang memiliki nilai kepekatan lebih tinggi yaitu NaOH 14 molar.

2. Perlu dilakukan penelitian yang meninjau *water solid ratio* yang paling optimum pada pembuatan mortar *geopolymer*.
3. Perlu dilakukan peninjauan yang lebih pada proses pemilihan batu bata yang akan digunakan sebagai bahan bantu uji kuat geser.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Committee C90. ASTM C618. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use in Concrete*. ASTM International. 2002
- Davidovits, Joseph. 1999. *Chemistry of Geopolymer System Terminology*, In *Proceedings of Geopolymer '99 International Conferences*. France
- DPU. 1990. SK SNI -04-1989-F. *Spesifikasi Agregat sebagai Bahan Bangunan*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 1990. SK SNI T-15-1990-03. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 1990. SNI 03-1750. *Agregat Beton, Mutu Dan Cara Uji*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 1990. SNI -03-1974. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 2002. SNI 03-2461. *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 2002. SNI 03-2847. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 2002. SNI 03-6414. *Pengertian Dan Manfaat Fly Ash*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 2002. SNI 03-6820. *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan Dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 2002. SNI 03-6825. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Yayasan LPMB. Bandung
- DPU. 2002. SNI 03-6882. *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*. Yayasan LPMB. Bandung
- Ekaputri, Januarti Jaya. 2007. "Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif". *Jurnal Pondasi*. Vol 13 (2): hal. 130-132.
- Fitriani, Dian Rahma. 2010. *Pengaruh Modulus Alkali dan Kadar Aktivator Terhadap Kuat Tekan Fly Ash Based Geopolymer Mortar*. Skripsi tidak diterbitkan. Solo: PPs Universitas Sebelas Maret.
- Hardjito, D. and Rangan, B.V. 2005. "Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash- Based Geopolymer Concrete". *Jurnal Pondasi* vol. 13 (2): hal. 124.
- Malhotra. 1999. *Making Concrete 'Greener' with Fly Ash*. ACI Concrete International, 21, pp. 61-66
- Manuahe, Riger. 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. Skripsi tidak diterbitkan. Manado: PPs Universitas Sam Ratulangi.
- Sitindaon, Nico Parulian. 2014. *Pengaruh Plasticizer Pada Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Solid Material Abu Terbang Dan Abu Sekam Padi Dengan Alkaline Activator Sodium Silikat Dan Sodium Hidroksida*. Skripsi tidak diterbitkan. Jogjakarta: Universitas AtmaJaya Jogjakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada. Triwulan, dkk. 2007. *Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan fly ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi*. TORSI Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil. 27(3). hal. 33-46
- Tjokrodinuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.
- Veliyati. 2010. *Pengaruh Faktor Air Binder Terhadap Kuat Tekan Dan Workability Fly Ash Based Geopolymer Mortar*. Skripsi tidak diterbitkan. Solo: PPs Universitas Sebelas Maret. .
- 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 W. Law, dan Thomas C. K. Molyneaux. 2013. "Durability and Mechanical Properties of Alkali Activated Slag Concrete in Long Term Performance". *Japan: Japan Concrete Institute*
- Wardhono, Arie, David W. Law, dan Thomas C. K. Molyneaux. 2012. "Strength of Alkali Activated Slag and Fly Ash-based Geopolymer Mortar". *Japan: Japan Concrete Institute*