

PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI FLY ASH PADA MORTAR GEOPOLIMER DENGAN NaOH 8 MOLAR DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN POROSITAS

Dimas Fery Setiawan

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

dimassetiawan1@mhs.unesa.ac.id

Arie Wardhono

Dosen S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

ariewardhono@unesa.ac.id

Abstrak

Tulisan ini membahas tentang beton *geopolymer* berbasis abu terbang (*fly ash*) yang kemudian digunakan pula abu sekam padi sebagai bahan substitusi abu terbang dengan beberapa variasi rasio yaitu 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, dan 12% serta 0% RHA dan mortar OPC sebagai kontrol. Pada penelitian ini digunakan benda uji mortar *geopolymer* kubus 5x5x5cm dengan NaOH 8 Molar dan Sodium Silikat sebagai aktivator. Fokus pada penelitian ini yaitu untuk mendapatkan rasio optimum serta pengaruh substitusi RHA terhadap FA pada kuat tekan, porositas dan *setting time* mortar. Adapun rasio SS/SH sebesar 1.5 dengan kadar solid larutan aktivator (w/s) sebesar 0.45.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio optimum substitusi RHA terhadap FA yaitu sebesar 7.5% dengan hasil kuat tekan saat usia 28 hari sebesar 39.41 MPa dengan porositas terkecil sebesar 11.54%. Penambahan RHA mendapatkan hasil nilai kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan mortar semen sebagai kontrol disebabkan oleh tingginya kandungan *silika* (Si) pada *rice husk ash* yang mencapai 79.7% dan juga digunakannya *sodium silikat* sebagai aktivator kandungan silika pada RHA. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kandungan dalam masing-masing bahan utama yang digunakan dengan metode XRF pada material penyusun mortar *geopolymer*, diantaranya *rice husk ash* dan *fly ash*.

Kata Kunci : Geopolimer, *Fly Ash*, *Rice Husk Ash*, Kuat Tekan, Porositas, Mortar.

Abstract

This paper discusses fly ash-based geopolymer concrete which is then used by rice husk ash as a substitute for fly ash with a number of variations, namely 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, and 12% and 0% RHA and OPC mortar as a control. In this study used geopolymer mortar specimens of 5x5x5cm cubes with 8 Molar NaOH and Sodium Silicate as activators. The focus of this research is to get the optimum ratio and the effect of RHA substitution on FA on compressive strength, porosity and setting time. The SS / SH ratio is 1.5 with the solid content of the activator solution (w / s) of 0.45.

The results showed that the optimum ratio of RHA substitution to FA was 7.5% with the results of 28 days of compressive strength at 39.41 MPa with the smallest porosity-test of 11.54%. The addition of RHA results in higher compressive strength compared to cement mortar as a control due to the high content of silica (Si) in rice husk ash which reaches 79.7% and also the use of sodium silicate as an activator of silica content in RHA. In this study, the content of each main ingredient was tested using the XRF method on geopolymer mortar constituents, including rice husk ash and fly ash.

Keywords: *Geopolymer, Fly Ash, Rice Husk Ash, Compressive Strength, Porosity, Mortar.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan perkembangan pembangunan di Indonesia saat ini, terutama di bidang konstruksi. Hal tersebut membuat semakin tingginya kebutuhan pembangunan infrastruktur, maka kebutuhan akan penggunaan semen sebagai bahan utama beton dalam bidang konstruksi juga semakin meningkat. Menurut data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia akibat meningkatnya pembangunan konstruksi beton di Indonesia, maka permintaan terhadap kebutuhan semen juga mengalami peningkatan. Pada tahun 2011 peningkatan konsumsi semen mencapai 48 juta ton.

Namun, beberapa tahun terakhir penggunaan semen mulai sering mendapatkan kritik, terutama dari kalangan peduli lingkungan hidup, hal tersebut disebabkan kandungan karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan pada proses produksi *Portland Cement*. *Ordinary Portland Cement* (OPC) memberikan kontribusi sekitar 7-10% dari total karbon dioksida (CO₂) secara global, dan telah ditemukan bahwa satu ton OPC yang diproduksi akan melepaskan satu ton CO₂ ke atmosfer. Emisi karbon yang tinggi sangat berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (Olivia, 2011).

Dalam perkembangannya, muncul berbagai inovasi untuk mengurangi atau menggantikan semen sebagai salah satu material utama dalam pembuatan beton. Penelitian terus dilakukan hingga ditemukannya beton geopolimer.

Beton Geopolimer adalah jenis beton yang tidak 100% menggunakan semen. *Fly ash* atau abu terbang digunakan sebagai sumber material untuk membuat *binder* yang dibutuhkan dalam komposisi campuran beton geopolimer. Beton Geopolimer terbentuk dari reaksi kimia dan bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa (Davidovits, 1999). Maka jenis aktivatornya harus sesuai dengan senyawa yang terkandung dalam *fly ash* dan komposisinya tepat sehingga dapat terjadi reaksi kimia. Aktivator yang biasanya digunakan yaitu *Sodium Hidroksida* 8M sampai 14M dan *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3) dengan perbandingan antara 0.4 sampai 2.5 (Hardjito, 2005).

Beberapa mineral alami yang memiliki kandungan SiO_2 (Silika Oksida) tinggi juga dapat digunakan sebagai alternatif pengganti semen. *Fly Ash* (abu sekam padi) dan *Rice Husk Ash* (abu sekam padi) merupakan alternatif yang dapat digunakan karena mengandung SiO_2 yang tinggi. Selain itu, bahan-bahan alternatif mineral alami dengan kandungan SiO_2 (silika oksida) yang tinggi dapat digunakan sebagai pengganti semen seperti abu terbang (*Fly Ash*) dan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*). Abu terbang atau *fly ash* merupakan hasil sampingan pembakaran batu bara yang merupakan material buangan dari industri dan PLTU, yang memiliki kandungan silika (SiO_2) tinggi. Sedangkan Abu sekam padi merupakan hasil pembakaran sekam padi yang pada umumnya mempunyai kadar silika lebih dari 90% (Antiohos, 2014).

Dalam beton geopolimer, dibutuhkan komposisi lain yang digunakan sebagai pengikat, seperti *Sodium Hidroksida* dan *Sodium Silikat*. Selain bahan tersebut, dibutuhkan komposisi lain yang digunakan sebagai pengikat yaitu *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3). Kandungan *Oksida Silika* dalam bahan tersebut akan bereaksi secara kimia dan kemudian membentuk ikatan polimer.

Proses perawatan geopolimer membutuhkan suhu yang tinggi untuk mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi selama proses pengerasan (Wardhono et al. 2012). Berdasarkan hal tersebut, kami menggunakan ukuran benda uji kubus 5x5x5 cm yang relatif lebih kecil agar penelitian lebih berfokus pada pembuatan mortar dan menjadikan proses pengerasan menjadi menjadi lebih cepat.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan latar belakang di atas adapun rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai bahan substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan mortar *geopolymer* dengan NaOH 8 Molar ?
2. Berapa kadar optimum penggunaan abu sekam padi sebagai bahan substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan mortar *geopolymer* dengan NaOH 8 Molar ?

Tujuan

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

1. Mendapatkan informasi pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai bahan substitusi *fly ash* terhadap

kuat tekan mortar *geopolymer* dengan NaOH 8 Molar.

2. Mendapatkan kadar optimum penggunaan abu sekam padi sebagai bahan substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan mortar *geopolymer* dengan NaOH 8 Molar.

Manfaat Penelitian

Diharapkan dalam penelitian ini diperoleh manfaat antara lain:

1. Memberikan pengetahuan mengenai penggunaan abu sekam padi sebagai bahan substitusi *fly ash* terhadap kuat tekan mortar *geopolymer* dengan NaOH 8 Molar yang optimum.
2. Diharapkan penelitian ini dapat mendukung penelitian selanjutnya untuk mengembangkan mortar geopolimer sebagai beton struktur sehingga pemanfaatan limbah *fly ash* dan abu sekam padi dapat ditingkatkan.

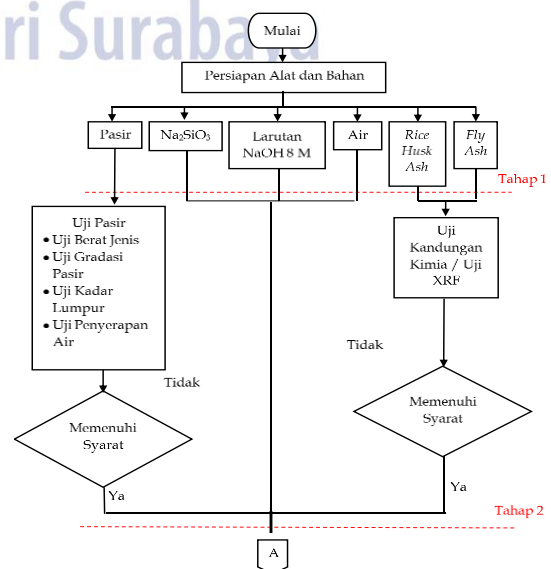
Batasan Masalah

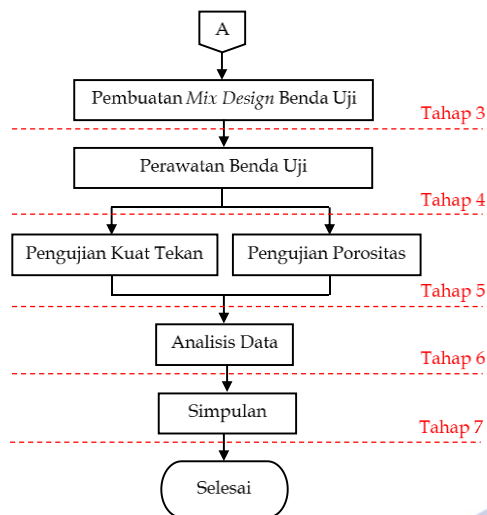
Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Larutan aktivator alkali yang digunakan merupakan kombinasi dari *Sodium Hidroksida* (NaOH) dan *Sodium Silikat* (Na_2SiO_3).
2. Penelitian ini menggunakan material *fly ash* tipe C dan Abu Sekam Padi sebagai substitusi *fly ash*. Pengujian mortar dilakukan pada umur 7, 14, 28 hari.
3. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan rincian total 7 *mix design* yang masing-masing berjumlah 20 sampel. Termasuk dengan 1 *mix design* kontrol (mortar OPC) Maka total benda uji yang dibuat adalah 140 buah.
4. Suhu normal yang dimaksud adalah suhu ruangan yang berkisar antara 27 ° C - 35 ° C.

METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Adapun rancangan penelitian dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart*) penelitian pada Gambar 1 berikut:





Gambar 1. Flow Chart Penelitian

- Tahap 1 (Persiapan)
Sebelum dilakukannya pelaksanaan penelitian, diperlukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan terlebih dahulu. mulai dari *fly ash*, NaOH, kapur, aquades dan pasir.
- Tahap 2 (Uji Bahan)
 - Agregat Halus, meliputi: Uji Berat Jenis Penyerapan Air, Gradasi, *Fineness Modulus*, Kadar Lumpur dan Kadar Air.
 - Pengujian XRF untuk material *fly ash*, dan *rice husk ash*.
- Tahap 3 (Pembuatan *Mix Design* Benda Uji)
Dalam penelitian ini membuat variasi komposisi kapur, NaOH dan *fly ash* sebagai bahan pengganti 100% *Portland Cement*. Benda uji kubus mortar ini kemudian diuji kuat tekan dan porositas pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan masing-masing umur pengujian sejumlah 3 sampel.
Variabel bebas yang digunakan yaitu variasi rasio substitusi RHA terhadap FA sebesar 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, dan 12.5%. Adapun variabel terikat yang digunakan yaitu kuat tekan, porositas, dan *setting time* pada mortar *geopolymer*. Sedangkan variabel kontrol yang digunakan yaitu larutan NaOH 8M, Sodium Silikat cair, SS/SH = 1.5, W/S = 0.45 *fly ash* kelas C, *rice husk ash* pasir lumajang, serta air suling (*aquades*). Rencana *mix design* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rencana Mix Design Mortar *Geopolymer* 8 Molar

Kebutuhan Bahan <i>Mix Design</i> Dengan Kondisi SS/SH 8 Molar = 1,5 dan W/S = 0,45							
<i>Mix Design</i>	PC	Pasir	<i>Fly Ash</i>	RHA	Water	Sodium Silikat	NaOH 8M
	Berat (gram)	Berat (gram)	Berat (gram)	Berat (gram)	Berat (gram)	Berat (gram)	Berat (gram)
1	1552,69	5000	0	0,00	501,03	0,00	0,00
2	0,00	4634,75	1654,72	0,00	47,88	670,93	374,55
3	0,00	4634,75	1613,35	11,49	47,88	670,93	374,55
4	0,00	4634,75	1571,98	22,98	47,88	670,93	374,55
5	0,00	4634,75	1530,62	34,47	47,88	670,93	374,55
6	0,00	4634,75	1489,25	45,96	47,88	670,93	374,55
7	0,00	4634,75	1447,88	57,46	47,88	670,93	374,55

- Tahap 4 (Perawatan Benda Uji)
Proses perawatan dilakukan dengan cara menyimpan benda uji dengan baik yaitu terlindung dari sinar matahari dan hujan, dengan berada pada suhu ruangan sampai dengan tibanya waktu pengujian benda uji.
- Tahap 5 (Pengujian Benda Uji)
Penelitian ini melakukan 3 jenis pengujian. Pada mortar benda uji yang dibuat yaitu uji kuat tekan dan porositas. Sedangkan uji Vicat dilakukan dengan pasta sesuai dengan masing-masing variasi *mix design* yang telah direncanakan.
- Tahap 6 Analisis Data
Analisis data dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio penambahan prosentase RHA terhadap FA serta hubungan antara usia benda uji, kuat tekan, *setting time*, dan berat per-volume.
- Tahap 7 Simpulan
Tahap ini merupakan tahap akhir dari rancangan penelitian. Data informasi yang diperoleh dari penelitian diolah, kemudian ditarik kesimpulan untuk menjawab dan mengetahui dari hasil penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan untuk mengetahui dan menjawab tujuan dari penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Hasil Uji Material
 - Agregat Halus

Tabel 2. Hasil Uji Agregat Halus

No.	Uraian	Pasir Lumajang	Standart SNI
1	Berat Jenis	2.75 gr/cm ³	Min. 2,5 gr/cm ³
2	Penyerapan Air	1.63%	< 5%
3	Analisa Ayakan	Lapangan= Zona 2, FM=2,71 Campuran mortar = Zona 4, FM=2,0	<i>Fineness Modulus</i> (FM) = 1,50-3,80
4	Berat Volume	1,76 gr/cm ³	1,5 – 2,0 gr/cm ³
6	Kadar Lumpur	0.21%	< 5%

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir lumajang dan pasir yang digunakan dalam keadaan kering permukaan (SSD). Hasil dari beberapa pengujian pasir, dapat dipastikan bahwa pasir tersebut telah memenuhi syarat sebagai agregat halus.

- Fly Ash*

Pengujian *fly ash* dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Hasil pengujian kandungan kimia dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari hasil pengujian XRF dalam Gambar 1 diatas, menunjukkan bahwa kandungan yang

terbesar dalam *fly ash* adalah Fe (besi) sebesar 51,17%, Ca (kapur) sebesar 24,00%, Si sebesar 13,1%, dan Al sebesar 4,6%. Hasil XRF tersebut termasuk bahwa *fly ash* kelas C, dimana besar kandungan $Fe_2O_3 + SiO_2 + Al_2O_3$ ($51,17\%+13,1\%+4,6\%=68,7\%$) $> 50\%$ dan kandungan $Ca=24\% > 10\%$ sesuai dengan ASTM C168.

Tabel 3. Hasil Uji XRF pada *Fly Ash*

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
Al	4,6
Si	13,1
S	0,4
Eu	0,4
K	0,97
Ca	24,0
Ti	0,92
V	0,05
Cr	0,099
Mn	0,76
Fe	51,17
Ni	0,02
Cu	0,068
Sr	0,80
Mo	1,00
Ba	0,71
Ln	0,07
Yb	0,1
Hg	0,54

c. *Rice Husk Ash*

Dalam penelitian ini, abu sekam padi / *rice husk ash* juga dilakukan uji XRF yang dilaksanakan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Malang. Kandungan terbesar yang terkandung dalam RHA yaitu Si sebesar 79,7%. Adapun Hasil uji XRF disajikan pada Tabel 4.13. sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Uji XRF pada *Rice Husk Ash*

No	Komponen Kimia	Unit (%)	No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Si	79.7	7	Fe	1.77
2	S	1.4	8	Cu	0.11
3	K	10.8	9	Zn	0.05
4	Ca	4.75	10	Br	0.11
5	Ti	0.08	11	Ba	0.1
6	Mn	0.87	12	Eu	0.05
			13	Re	0.2

d. *Portland Cement*

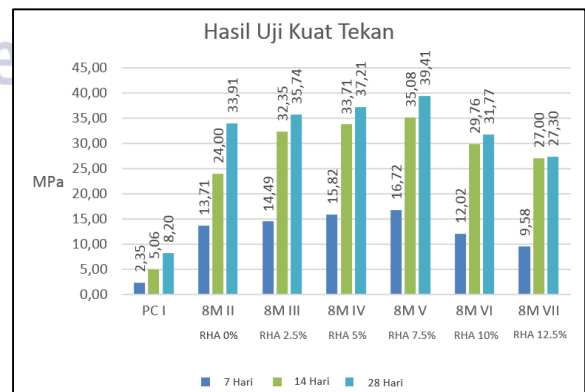
Dalam penelitian ini *Portland Cement* digunakan sebagai bahan utama penyusun mortar dalam *mix design control*. Adapun hasil Uji XRF dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji XRF pada *Portland Cement*

No	Komponen Kimia	Unit (%)
1	Al	1.6
2	Si	7.21
3	S	0.44
4	K	0.72
5	Ca	77.36
6	Ti	0.33
7	V	0.01
8	Cr	0.061
9	Mn	0.11
10	Fe	5.28
11	Cu	0.055
12	Sr	1.2
13	Zr	0.07
14	Mo	2.1
15	In	2.7
16	Ba	0.1
17	Eu	0.06
18	Yb	0.34
19	Re	0.13

2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar *Geopolymer*

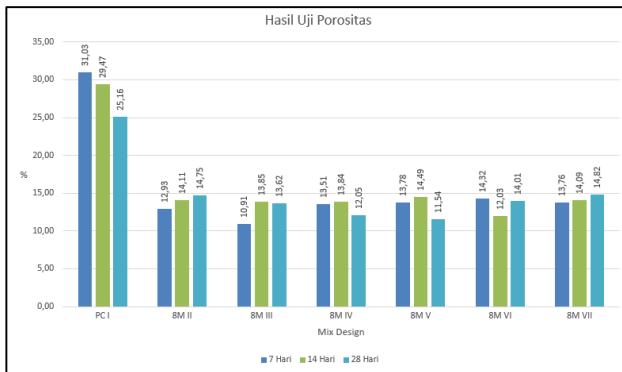
Hasil pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* dapat digunakan untuk mengetahui mutu atau kualitas dari mortar tersebut. Pengujian mortar *geopolymer* ini dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian pada umur 7, 14 dan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Mortar *Geopolymer* 8M 7, 14 dan 28 Hari

Kuat tekan optimum mortar *geopolymer* didapatkan pada *mix design* 5 dengan substitusi RHA terhadap FA sebesar 7.5%.

3. Hasil Uji Porositas Mortar *Geopolymer*

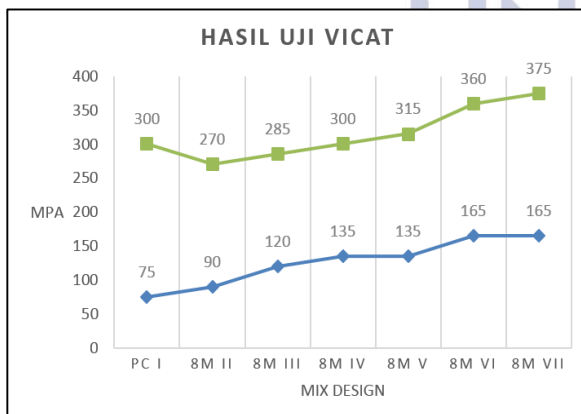


Gambar 3. Hasil Uji Porositas Umur 7, 14 dan 28 Hari

Dari hasil uji porositas seperti yang tersaji pada Gambar 3, menunjukkan porositas mortar tertinggi pada usia 28 hari didapatkan pada *mix design* 1 yaitu mortar kontrol dengan *Portland Cement*. Sedangkan terendah yaitu pada *mix design* 5 dengan rasio substitusi RHA terhadap FA 7.5% sebesar 11.34.

4. Hasil Pengujian Vicat (*Setting Time*) Pasta *Geopolymer*

Dari hasil tes vicat diatas menunjukkan bahwa untuk *mix design* 1 (kontrol) sesuai dengan pasta semen beton konvensional dengan besarnya waktu ikat awal menunjukkan waktu 75 menit > 60 menit yang disyaratkan dan waktu ikat akhir menunjukkan waktu 300 menit < 480 menit itu menunjukkan bahwa hasil tersebut tidak berada jauh dari kajian teori yang sekitar ikat awal minimal 60 menit dan ikat akhir maksimal 480 menit.



Gambar 4. Hasil Uji Vicat

Pada grafik diatas, pasta *geopolymer* *mix design* 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 memperlihatkan waktu ikat awal > 60 menit dan waktu ikat akhir > 480 menit. Berikut grafik hasil waktu ikat awal dan waktu ikat akhir dari

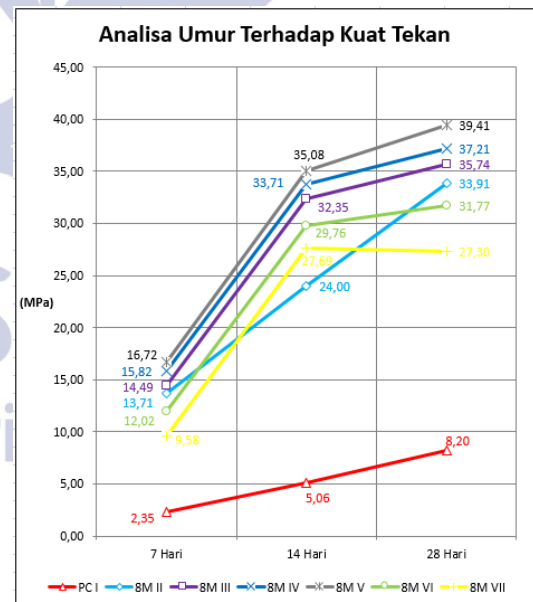
keseluruhan type pasta *geopolymer* pada pengujian vicat.

5. Pembahasan

Hasil penelitian akan dibahas pada sub bab ini, dimana dilakukan analisis kuat tekan mortar *geopolymer* sesuai umur optimal yaitu pada saat benda uji mortar *geopolymer* berusia 28 hari. Kuat tekan merupakan besarnya beban maksimum yang diberikan persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Karena pada penelitian ini difokuskan pada hasil kuat tekan benda uji, maka dilakukan analisa kuat tekan terhadap vicat, kuat tekan terhadap porositas, dan kuat tekan terhadap berat per-volume benda uji.

a. Analisa hubungan kuat tekan dan Umur Mortar *Geopolymer*

Dalam penelitian ini digunakan pengujian kuat tekan saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Analisa bertujuan untuk mengetahui bahwa umur benda uji memiliki pengaruh terhadap kuat tekan mortar *geopolimer*. Pada umumnya mortar memiliki kuat tekan optimum pada usia 28 hari. Hal tersebut dikarenakan pada usia 28 hari kandungan pada mortar telah sepenuhnya bereaksi sehingga kuat tekannya akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan mortar pada usia 7 hari dan 14 hari. Adapun hubungan kuat tekan dan umur mortar *geopolimer* pada masing-masing *mix design* disajikan dalam grafik berikut:



Gambar 5. Analisa Umur Benda Uji Terhadap Kuat Tekan

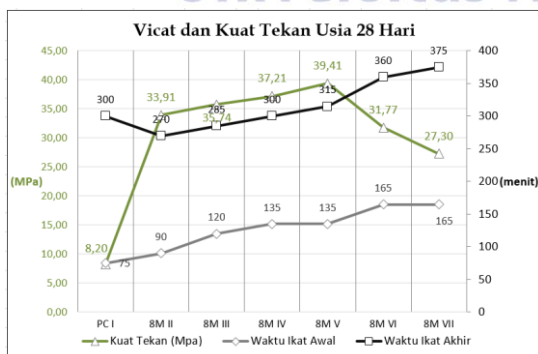
Dari grafik hubungan antara kuat tekan dan usia mortar *geopolimer* pada masing-masing variasi *mix design* seperti yang tersaji pada grafik diatas, dapat dilihat jika semakin lama usia benda uji maka semakin meningkat pula hasil uji kuat tekan yang didapatkan. Seluruh benda uji pada masing-masing variasi tiap *mix design*

mengalami peningkatan secara signifikan pada saat benda uji berusia 7 hari dan 14 hari. Hal tersebut dikarenakan pada usia 7 hari, kandungan kimia pada mortar belum sepenuhnya bereaksi, sehingga menyebabkan rendahnya nilai hasil uji kuat tekan. Sedangkan ketika usia 14 hari dan 28 hari, hasil uji kuat tekan tidak bertambah secara signifikan. Adapun peningkatan tertinggi hasil uji kuat tekan terhadap usia mortar didapatkan pada *mix design* 2 dengan rasio substitusi *rice husk ash* terhadap *fly ash* sebesar 0% saat usia 14 hari dan 28 hari yaitu sebesar 9.91 MPa.

Selanjutnya hasil peningkatan pada *mix design* 3 dengan substitusi RHA terhadap FA 2.5% sebesar 3.39 MPa, *mix design* 4 dengan substitusi RHA terhadap FA 5% sebesar 3.5 MPa, *mix design* 5 dengan substitusi RHA terhadap FA 7.5% sebesar 4.33 MPa, *mix design* 6 dengan substitusi RHA terhadap FA 10% sebesar 2.01 MPa, *mix design* 7 dengan substitusi RHA terhadap FA 12.5% sebesar 0.32 MPa. Dari hasil analisa dapat disimpulkan jika kuat tekan mortar geopolimer berbanding lurus dengan usia benda uji. Sedangkan rasio penambahan abu sekam padi / *rice husk ash* terhadap *fly ash* berpengaruh terhadap selisih peningkatan uji kuat tekan pada usia 14 hari dan 28 hari. Penambahan rasio substitusi abu sekam padi menyebabkan naiknya selisih peningkatan hasil uji kuat tekan saat usia 14 dan 28 hari. Selisih meningkat secara terus menerus hingga tercapainya kuat tekan optimum pada *mix design* 5 dengan rasio substitusi RHA terhadap FA sebesar 7.5%, selanjutnya selisih peningkatan kuat tekan turun hingga *mix design* 7 dengan rasio 12.5% substitusi RHA terhadap FA.

b. Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Vicat

Tujuan dilakukan pengujian vikat dalam penelitian ini adalah untuk menentukan konsistensi normal dari mortar geopolimer untuk penentuan waktu pengikatan yang akan terjadi. Setiap *mix design* pada penelitian ini akan memiliki variasi hasil vikat yang berbeda. Adapun tabel hubungan waktu ikat dan kuat tekan disajikan pada **Gambar 6** berikut:

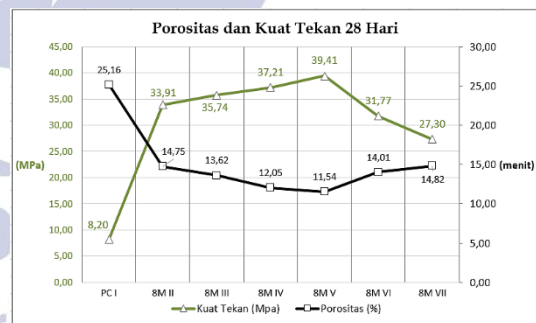


Gambar 6. Analisa Hasil Uji Vicat Terhadap Kuat Tekan

Dari hasil uji kuat tekan dan porositas yang disajikan pada **Gambar 6**, dapat dilihat jika semakin banyaknya kandungan *rice husk ash* pada tiap variasi *mix design* menyebabkan bertambahnya waktu ikat pada pasta. Sebelum tercapainya kuat tekan optimal, hasil uji vikat cenderung naik dengan stabil seperti pada *mix design* 2, *mix design* 3, dan *mix design* 4. Akan tetapi, setelah tercapainya hasil kuat tekan optimum pada penelitian ini yaitu pada *mix design* 5 dengan 7,5% substitusi *rice husk ash* terhadap *fly ash*, hasil uji vikat cenderung naik dan berbanding terbalik dengan hasil uji kuat tekan beton. Hal tersebut disebabkan karena pada *mix design* 6 dengan substitusi RHA terhadap FA sebesar 10% dan *mix design* 7 dengan substitusi RHA terhadap FA sebesar 12.5% adanya kandungan Si yang terlalu tinggi pada mortar geopolimer. Sehingga menyebabkan Si yang tidak bereaksi dan mengakibatkan turunnya nilai kuat tekan mortar serta naiknya hasil uji vikat (*setting time*). Dalam analisa penelitian ini dapat disimpulkan jika penambahan rasio substitusi *rice husk ash* terhadap *fly ash* berbanding lurus dengan peningkatan waktu ikat (*setting time*) pada hasil uji vikat .

c. Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

Dalam penelitian ini, dilakukan uji porositas pada tiap variasi *mix design* mortar geopolimer. Uji porositas bertujuan untuk mengetahui tingkat kepadatan yang dipengaruhi oleh besaran pori pada benda uji. Adapun hubungan antara kuat tekan dan porositas pada benda uji dapat dilihat pada **Gambar 7**:



Gambar 7. Analisa Porositas Terhadap Kuat Tekan

Berdasarkan hasil uji kuat tekan dan porositas yang disajikan pada **Gambar 7**, dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan optimum didapatkan pada *mix design* 5 dengan rasio substitusi *fly ash* terhadap *rice husk ash* sebesar 7,5 memiliki nilai kuat tekan sebesar 39,41 MPa. Sedangkan hasil porositas terkecil juga didapatkan *mix design* 5 dengan nilai porositas sebesar 11,54%. Hasil kuat tekan terendah didapatkan oleh *mix design* 1 yang merupakan *mix design* kontrol dengan persentase bahan pengikat *Portland cement* sebesar 100% yaitu memiliki nilai kuat tekan sebesar 8.2 MPa dengan porositas paling besar yaitu 25.16%.

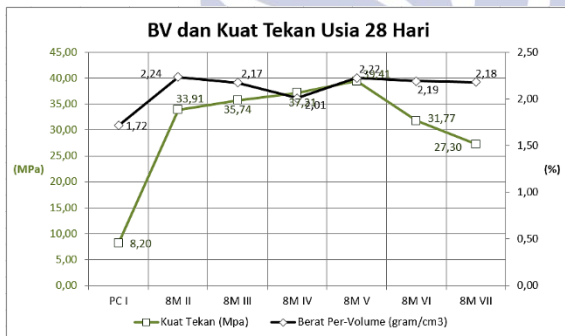
Sedangkan pada *mix design* 2, 3, 4, 6, dan 7 menunjukkan jika hasil kuat tekan masing-masing variasi *mix design* berbanding terbalik terhadap hasil uji porositas.

Pada **Gambar 7**, menunjukkan grafik terjadinya penurunan nilai porositas saat nilai kuat tekan naik. Sedangkan pada saat *mix design* 6, dimana terjadinya penurunan terhadap kuat tekan maka hasil nilai uji porositas mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan jika kandungan *rice husk ash* dapat meningkatkan nilai porositas pada mortar. Dalam analisa ini dapat diketahui jika hasil nilai uji porositas mortar berbanding terbalik dengan hasil nilai kuat tekan benda uji.

d. Analisa Hubungan Kuat Tekan dan Berat Per-Volume

Dalam penelitian ini dilakukan uji berat per-volume pada masing-masing benda uji. Uji berat per-volume bertujuan untuk mendapatkan satuan berat pada tiap volume benda uji, sehingga semakin kecil nilai berat per-volume pada benda uji maka semakin kurang padatnya susunan partikel pada mortar.

Adapun hubungan berat per-volume dan kuat tekan benda uji disajikan pada **Gambar 8**, sebagai berikut:



Gambar 8. Analisa Uji Porositas Terhadap Kuat Tekan

Pada **Gambar 8**, menunjukkan bahwa nilai kuat tekan terbesar didapatkan oleh *mix design* 5 dengan rasio substitusi *fly ash* terhadap *rice husk ash* 7,5% memiliki nilai kuat tekan sebesar 39,41% dengan nilai berat per-volume sebesar 2,22. Sedangkan nilai kuat tekan terendah didapatkan oleh *mix design* 1 yang merupakan *mix design* dengan penggunaan bahan pengikat *Portland Cement* 100% memiliki nilai kuat tekan sebesar 8,2 MPa dengan nilai berat per-volume sebesar 1,72 gram/cm³.

Saat nilai berat per-volume semakin besar, nilai kuat tekan juga semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan dalam penelitian ini bahwa berat per-volume berbanding lurus dengan kuat tekan benda uji.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian penggunaan *rice husk ash* sebagai substitusi *fly ash* dengan (W/S) sebesar 0,45, dan (SS/SH 8 Molar) sebesar 1,5 dalam pembuatan mortar geopolymer, dapat ditarik simpulan antara lain:

- Hasil kuat tekan optimum mortar geopolimer didapatkan pada *mix design* 5 dengan rasio substitusi *rice husk ash* terhadap *fly ash* sebesar 7,5%. Hasil kuat tekan naik secara terus-menerus seiring dengan penambahan jumlah rasio substitusi *fly ash* terhadap *rice husk ash* hingga tercapainya kadar optimum. Adapun hasil kuat tekan usia 28hari dari masing-masing *mix design* ialah: *mix design* 2 sebesar 33,91 MPa, *mix design* 3 sebesar 35,74 MPa, *mix design* 4 sebesar 37,21 MPa, *mix design* 5 sebesar 39,41 MPa, *mix design* 6 sebesar 31,77 MPa, *mix design* 7 sebesar 27,30 MPa.
- Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kadar optimum penggunaan *rice husk ash* sebagai bahan substitusi *fly ash* dengan rasio (W/S) sebesar 0,45, dan (SS/SH 8Molar) sebesar 1,5, adalah sebesar 7,5% yaitu pada *mix design* 5. Hal ini ditunjukkan bahwa dari hasil uji kuat tekan, *mix design* 5 dengan substitusi RHA sebesar 7,5% mencapai nilai kuat tekan tertinggi dan nilai porositas terkecil sebesar 11,54%.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran untuk penelitian lanjut maupun untuk produksi mortar geopolymer antara lain:

- Saat proses pengadukan adonan mortar, harus dipastikan agar mortar telah tercampur dengan homogen sehingga menghindari hasil keropos pada mortar geopolimer.
- Saat pembacaan data kuat tekan, sebaiknya dilakukan dengan hati-hati dan teliti, juga perlu diperhatikan alat uji UTM (Universal Testing Machine) telah dikalibrasi sehingga didapatkan data yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 232.2R-03 (2003). *Use of Fly Ash in Concrete*. Reported by ACI Committee 232, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan 48333-9094
- ASTM C 618-93. "Standard Test Method for Fly Ash and Raw or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portland Cement Concrete," American Society for Testing of Concrete's, 1991
- ASTM C270-10, 2010. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. ASTM International, 100 Barr Harbour Drive, PO Box c700, West Conshohocken, PA 19428 -2959, United States.
- ASTM C618-12, 2012. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International, 100 Barr

Harbour Drive, PO Box c700, West
Conshohocken, PA 19428–2959, United States.

E.G. Nawy, Second Edition, CRC Press, New
York, 2008.

ASTM Standarts. 2002. ASTM 109/C 109M-02. *Standart Test Method for Compressive Strenght of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens)*. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Badan Standarisasi Nasional . (1990). *SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional . (1990). *SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional . (2002). *SNI 03-6825-2002 Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

Davidovits, J (1991). *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institute, France.

H.A. Abdel-Gawwad., & S.A. Abo-El-Enein., (2014). *A novel method to produce dry geopolymer cement powder*” Cairo : Ain Shams University.

Portland Cement Association. (1994). *Concrete Technology Today : High-Strength Concrete. High Strength Concrete , 15 (1),1-8.*

Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit KMTS FT UGM. Yogyakarta.

Wardhono, Arie, David W. Law, dan Thomas C. K. Molyneaux. (2012). *“Strength of Alkali Activated Slag and Fly Ash-based Geopolymer Mortar”*. Melbourne, Australia : RMIT University.

Wardhono, Arie, N. Estidarsani, dan N. W. Hidayati. (2018). *“Enhancing the Strength of Volcanic Mud-based Class C Fly Ash Geopolymer Specimen by Limestone Inclusion”*. Universitas Negeri Surabaya, Indonesia : *Civil Engineering Department*, Universitas Negeri Surabaya

Manuahe, Riger., 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*, Skripsi Sarjana Universitas Sam Ratulangi, Manado

Hardjito, D. and Rangan, B. V., *Development and Properties of LowCalcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete, Research Report GC1, Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth, 2005*

Rangan, B.V. *“Low-Calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete”*, Chapter 26 in *Concrete Construction Engineering Handbook*, Editor-in Chief: