

Analisis Morfologi Partikel Mikrostruktur Geopolimer Abu Sekam Padi Menggunakan Pembakaran Dengan Alat *Furnace* Dan Pembakaran Secara Manual

Cut Yusnar

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe Indonesia

*Koresponden email: cut_yusnar@pnl.ac.id

Diterima: 13 Februari 2024

Disetujui: 28 Maret 2024

Abstract

The morphology of Rice Husk Ash (RHA) geopolimer microstructure particles obtained by using a kiln at a temperature of 700°C produces a grain shape that is different from the RHA material burned by hand. The shape of the microstructure particles for geopolimer concrete paste determines the strength of the geopolimer range. The research results show that the shape of the granules obtained by firing in a kiln has a crystalline shape. Meanwhile, the shape of the particles obtained by manual firing is amorphous. The results of compressive strength tests with amorphous particle structures have greater compressive strength than those in crystalline form. This is demonstrated by testing the RHA furnace material and manually using SEM (Scanning Electron Microscopy) and XRD (X-Ray Diffraction) tests, which show that the granules obtained from furnace burning are crystalline and those obtained from manual burning are amorphous. Crystalline particles are more difficult to react with than amorphous particles in geopolimer concrete mixes. The XRD test results show the highest diffraction by the silica element. The chemical content of silica elements in rice husk ash was found to be 94.9%.

Keywords: *morphology of geopolimer particles, rice husk ash, compressive strength, effect of temperature, strength of geopolimer compounds*

Abstrak

Morfologi partikel mikrostruktur geopolimer abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) yang diperoleh dengan memanfaatkan alat pembakaran *furnace* pada temperatur 700°C menghasilkan bentuk butiran yang berbeda dari material RHA yang dibakar secara manual. Bentuk partikel mikrostruktur untuk pasta beton geopolimer menentukan kekuatan rangkaian geopolimer. Dari hasil penelitian membuktikan bentuk butiran yang diperoleh dari hasil pembakaran dengan alat *furnace* memiliki bentuk kristal. Adapun, bentuk partikel yang diperoleh dari pembakaran secara manual partikelnya berbentuk amorf. Hasil pengujian kuat tekan dengan struktur partikel berbentuk amorf mempunyai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan yang berbentuk kristal. Hal ini dibuktikan dengan pengujian terhadap material RHA *furnace* dan manual dengan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*), serta pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) memperlihatkan butiran dari hasil pembakaran dengan *furnace* berbentuk kristal, dan butiran yang diperoleh dari pembakaran secara manual berbentuk amorf. Bentuk partikel kristal lebih sulit bereaksi dibandingkan dengan partikel berbentuk amorf pada senyawa beton geopolimer. Hasil pengujian XRD memperlihatkan difraksi tertinggi oleh unsur silika. Pengujian kandungan kimia unsur silika pada abu sekam padi sebanyak 94,9%.

Kata Kunci: *morfologi partikel geopolimer, abu sekam padi, kuat tekan, pengaruh temperatur, kekuatan senyawa geopolimer*

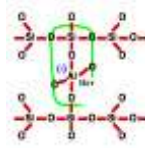
1. Pendahuluan

Abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) merupakan kulit gabah yang dihasilkan dari proses penggilingan padi. Dalam setiap 1000 kg padi yang digiling akan dihasilkan 220 kg (22%) kulit sekam. Jika kulit sekam ini dibakar pada tungku pembakar akan dihasilkan sekitar 55 kg (25%) RHA. Kulit sekam ini terdiri dari 75% bahan mudah terbakar dan 25% dari beratnya akan berubah menjadi abu. Abu ini dikenal sebagai *Rice Husk Ash* (RHA) yang memiliki kandungan silika reaktif sekitar 85-95%. Oleh karena itu, material RHA menjadi sumber yang berpotensi menggantikan semen (*cementitious*). [1]

RHA merupakan bahan yang mengandung ligo-selulosa, seperti biomassa pada umumnya, tetapi mengandung unsur silika yang saat tinggi. RHA yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu 400-500°C

akan menjadi silika *amorphouse* dan apabila dibakar pada suhu lebih dari 1000°C akan menjadi silika kristalin. Silika *amorphouse* merupakan salah satu bahan pembentuk beton geopolimer. [2]

Beton agropolimer adalah beton polimer berbahan dasar dari limbah pertanian seperti abu sekam padi dan abu ampas tebu yang memiliki aluminosilikat (SiO_2 dan Al_2O_3) untuk menggantikan rantai C. Oleh karenanya, beton polimer sering disebut beton geolimer. [2]



Gambar 1. Ikatan yang terjadi dalam geopolymer

Pada beton geopolimer reaksi alkali yang terjadi merupakan proses reaksi yang melalui beberapa tahapan, yaitu tahapan reaksi disolusi permukaan Al dan Si dalam larutan alkalin. Proses yang kedua, terjadi diffuse material yang terlarut. Selanjutnya, pada proses ketiga terjadi polikondensasi senyawa Al dan silika dengan adanya larutan silikat yang membentuk gel sebagai proses pengerasan akhir atau finalisasi produk. [3]

Senyawa pada campuran beton geopolimer baru dapat diaktifkan atau bereaksi bila melibatkan aktivator. Dalam hal ini, sebagai aktivator digunakan larutan alkalin yang merupakan kombinasi dari Al_2SiO_3 dan NaOH. Dalam penelitian digunakan sebanyak 37,23% SiO_2 dan 15,98% NaOH. [4]

Pada beton geopolimer ukuran butiran material geopolimer mempengaruhi penyerapan larutan alkalin sebagai aktivator senyawa geopolimer yang dihaluskan menggunakan *furnace* mempunyai bidang permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan pembakaran manual. [5]

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan pengaruh ukuran butiran abu sekam padi yang dihaluskan menggunakan alat pembakaran *furnace* pada temperatur 700°C dan butiran abu sekam padi yang diperoleh dari pembakaran secara manual terhadap kuat tekan beton geopolimer. Pada penelitian ini akan diperlihatkan bagaimana sifat reaktivitas butiran abu sekam padi dari hasil kedua metode pembakaran tersebut terhadap kekuatan senyawa beton geopolimer.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini memanfaatkan abu sekam padi atau RHA (*Rice Husk Ash*) yang dibakar dengan menggunakan alat *furnace* pada temperatur 700°C dan yang dibakar dengan menggunakan pembakaran manual. Hasil pembakaran selanjutnya disaring dengan saringan no. 200. [6]

Langkah selanjutnya mempersiapkan larutan alkalin yang terdiri dari larutan Al_2SiO_3 dan NaOH dengan perbandingan 10 M sebagai larutan aktivator. Kemudian, dimasukkan abu sekam padi RHAF (RHA *furnace*) sebanyak 500 gram dan pasir halus sebanyak 500 gram. Pekerjaan yang sama juga dilakukan terhadap abu sekam padi hasil pembakaran manual atau RHAM (RHA manual).

Pasta RHAF dan RHAM dimasukkan ke dalam cetakan benda uji kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm³. Benda uji yang sudah berumur 2 hari dilepaskan dari cetakan. Selanjutnya, benda uji dirawat di ruang terbuka dan sebagian dirawat di dalam oven pada temperatur 60°C. Benda uji diuji pada saat benda uji berumur 21 hari. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin kuat tekan dan dengan menggunakan peralatan SEM. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 1** jumlah benda uji berikut ini.

Tabel I. Jumlah Sampel Benda Uji Kubus 50 x 50 x 50 (mm)

Jenis Campuran	Komposisi		Larutan Alkalin	Na_2SiO_3	NaOH	Jumlah Benda Uji
	RHA (gr)	OPC (gr)				
Campuran 1 (<i>furnace</i>)	350	150	1:1	1	1	20
Campuran 2 (manual)	350	150	1:1	1	1	20

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Politeknik Negeri Lhokseumawe dan Laboratorium Teknik Kimia, meliputi pengujian:

1. Pengujian kuat tekan untuk beton geopolimer dengan abu sekam padi (RHA) yang dibakar dengan *furnace* dan yang dibakar secara manual.

2. Pengujian SEM untuk mengamati morfologi partikel mikrostruktur geopolimer abu sekam padi menggunakan pembakaran dengan alat *furnace* dan pembakaran secara manual.

Pembuatan benda uji diawali dengan mencampurkan abu sekam padi (RHA) dan OPC (*Ordinary Portland Cement*) sesuai dengan komposisi yang telah direncanakan, selanjutnya ditambahkan larutan alkalin dengan konsentrasi 10 M. Larutan alkalin dibuat dengan cara melarutkan NaOH ke dalam sejumlah air, kemudian ditambahkan dengan larutan Natrium Silikat (Na_2SiO_3).

Campuran larutan alkalin ini dimasukkan ke dalam campuran RHA dan OPC, lalu diaduk dengan menggunakan mixer selama 10 menit, setelah itu dimasukkan ke dalam cetakan kubus ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm yang telah diolesi dengan oli sebelumnya.

Sebanyak 10 buah benda uji kubus dibuat dari RHAF dan 10 buah benda uji dibuat dari RHAM. Masing-masing sebanyak 5 benda uji dirawat di dalam oven dengan temperatur 60°C dan 5 benda uji dirawat di suhu ruangan. Semua benda uji dilakukan pengujian terhadap kuat tekan, serta pengujian mikrostruktur.

Hasil pengujian diperlihatkan dalam bentuk grafik dan foto mikrostruktur. Pengamatan mikrostruktur dilakukan untuk melihat kuat rekat, serta susunan material pada benda uji yang menggunakan RHAF dan RHAM. **Gambar 2** berikut memperlihatkan cara pembuatan mortar geopolimer berbahan RHA dan OPC, baik yang menggunakan *furnace* maupun manual.



Gambar 2. RHA hasil *furnace* dan OPC

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Mikrostruktur

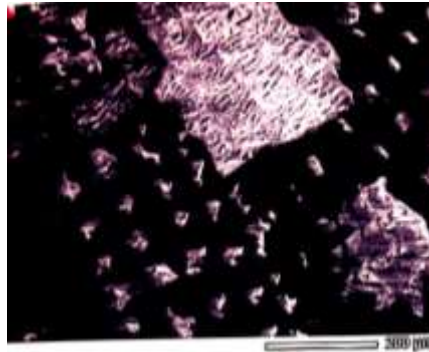
Hasil pengujian mikrostruktur RHA yang dibakar secara manual dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscopy*) diperlihatkan pada **Gambar 3**. Pada **Gambar 3** terlihat morfologi partikel geopolimer RHA yang dibakar dengan pembakaran manual terlihat padat dan homogen. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi geopolimerisasi berlangsung lebih sempurna, sehingga lekatan mikrostruktur lebih kuat. [7] Hal ini juga dibuktikan dari hasil pengujian kuat tekan, dimana hasil pengujian kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan mortar geopolimer dengan RHA hasil pembakaran *furnace*.



Gambar 3. Foto SEM RHA dengan pembakaran manual

Sebaliknya, foto SEM dengan RHA hasil *furnace* memperlihatkan morfologi partikel geopolimer didominasi oleh butiran, seperti yang terlihat pada **Gambar 4**. Hal ini mengindikasikan bahwa banyak partikel yang tidak bereaksi, sehingga reaksi geopolimerisasi berjalan kurang sempurna yang berakibat menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan lebih rendah [8].

Dari hasil penelitian, metode pembakaran juga mempengaruhi bentuk partikel, karakteristik fisik, serta kimia dari RHA yang dibakar dengan metode pembakaran menggunakan alat *furnace* maupun manual. Untuk melihat karakteristik fisik material RHA digunakan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). [9]

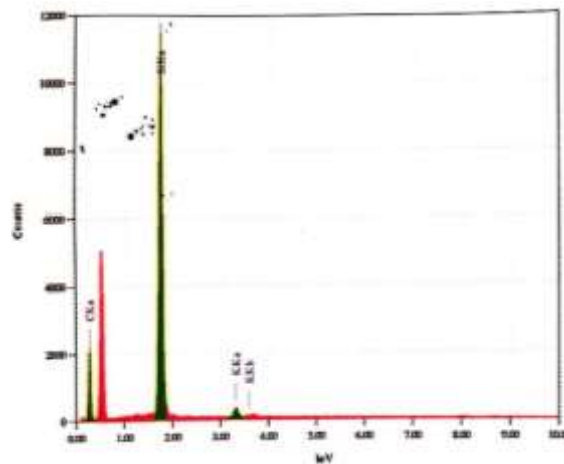


Gambar 4. Foto SEM RHA hasil pembakaran dengan alat *furnace*

Pada pengujian XRD, sinar X (X-Ray) yang mengenai bidang kristal dalam RHA akan difraksikan pada sudut tertentu. Jika sudut hamburan (2θ) sudah diketahui, maka dapat dihitung panjang gelombang sinar X yang menentukan jarak antara bidang atom. Jarak bidang atom digunakan untuk menghitung indeks Miller dari bidang-bidang atom maupun orientasi pertumbuhan kristal, serta parameter kisinya. Berdasarkan strukturnya, material dapat digolongkan menjadi dua, yaitu berstruktur kristal dan tidak berstruktur (amorf) [10].

Material amorf apabila dikenai berkas sinar X akan dicirikan oleh spektrum yang kontinu, tidak ada puncak-puncak difraksi pada sudut tertentu. Adapun material kristal, apabila dikenai berkas sinar X akan dicirikan oleh adanya spektrum yang diskrit pada sudut hamburan [9].

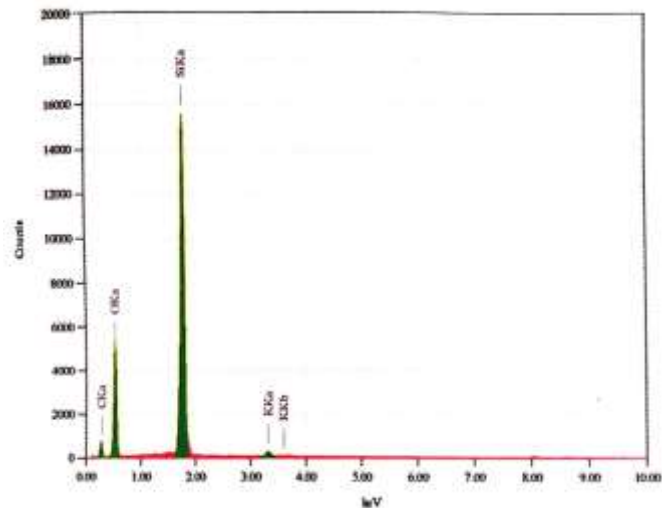
Hasil XRD untuk material RHA yang dibakar secara manual diperlihatkan pada **Gambar 5**. Dari grafik terlihat gelombang sinar X terdifraksi pada material silika mencapai $12000 \mu\text{m}$. Sementara, yang lainnya tidak terdifraksi. Hal ini berarti material RHA yang dibakar dengan metode pembakaran manual menunjukkan karakteristik mikrostrukturnya berbentuk amorf (tidak berstruktur).



Gambar 5. XRD abu sekam padi (RHA) yang dibakar secara manual

Hasil pengujian XRD untuk RHA yang dibakar dengan alat pembakaran *furnace* diperlihatkan pada **Gambar 6**. Pada hasil XRD untuk RHA *furnace*, sinar X mengenai materi silika sehingga menghasilkan pantulan cahaya. Pantulan cahaya (difraksi) yang dihasilkan sebesar $16000 \mu\text{m}$. Sinar X berinteraksi dengan materi silika sehingga menghasilkan fenomena optik seperti hamburan, difraksi, pantulan, maupun transmisi. Apabila materi berstruktur kristal, maka sinar X yang mengenai bidang kristal akan difraksikan atau dihamburkan pada sudut 2θ , sehingga panjang gelombang dapat terukur [11], [19].

Dengan diketahuinya panjang gelombang maka dapat dihitung jarak antar bidang atom. Jarak antar bidang atom menentukan indeks Miller. Nilai indeks Miller ini menentukan apakah struktur material digolongkan berstruktur kristal atau tidak berstruktur (amorf) [9], [10]. Hasil pembakaran dengan *furnace* pada penelitian ini memperlihatkan partikel silika berbentuk kristal.



Gambar 6. XRD abu sekam padi (RHA) yang dibakar dengan *furnace*

3.2. Kandungan Kimia Abu Sekam Padi

Hasil penelitian terhadap komposisi kimia abu sekam padi dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut ini.

Tabel 2. Komposisi Kimia Abu Sekam Padi

Oksida	Kandungan (%)
SiO ₂	94,9
Al ₂ O ₃	0,67
Fe ₂ O ₃	0,84
CaO	2,84
K ₂ O	0,69
TiO ₂	0,03
CrO	0,03
MnO	0,37
NiO	0,03
CuO	0,05

Pada **Tabel 2** terlihat kandungan silika yang terdapat pada abu sekam padi sebesar 94,9%. Secara teoritis, kadar silika akan meningkat dengan semakin meningkatnya kadar abu sekam padi pada campuran geopolimer, dan ikatan Si-O-Si yang terbentuk akan lebih kuat daripada ikatan Si-O-Al atau ikatan Al-O-Al. [12] Semakin banyak jumlah abu sekam padi yang ditambahkan, maka kuat tekan dari geopolimer akan meningkat hingga mencapai titik optimalnya.

3.3 Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHA

3.3.1 Kuat Tekan RHA Furnace

Pengukuran kuat tekan akhir mortar geopolimer yang dibuat dengan memanfaatkan RHA dari hasil *furnace* dilakukan pada saat umur sampel telah mencapai 28 hari, karena pada umur tersebut diperkirakan kekuatan sudah optimal. Sebanyak 10 buah benda uji yang sudah dirawat selama 28 hari diletakkan di atas mesin kuat tekan, dan dibebani dengan beban hidrolis sesuai dengan yang terpasang pada mesin. Hasil kuat tekan dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHA *Furnace*

No.	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Berat (gr)	Kuat Tekan (MPa)
1.	RHAf 1	28	147,6	4,70
2.	RHAf 2	28	159,6	4,74
3.	RHAf 3	28	156	4,75
4.	RHAf 4	28	152,4	4,74
5.	RHAf 5	28	164,4	4,68
6.	RHAf 6	28	158,4	4,72
7.	RHAf 7	28	162	4,68
8.	RHAf 8	28	174	4,50
9.	RHAf 9	28	170,4	5,10
10.	RHAf 10	28	168	4,63

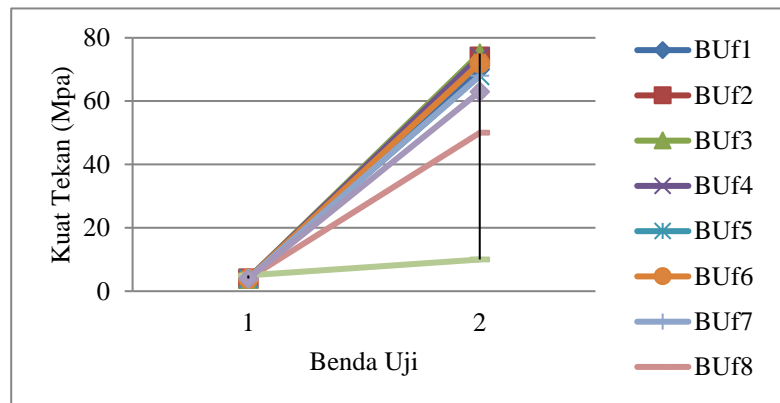
3.3.2 Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHA Pembakaran Manual

Dari hasil pengujian kuat tekan mortar geopolimer diperoleh kuat tekan rata-rata untuk mortar geopolimer dengan menggunakan RHA yang difurnace diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 4,74 MPa. Adapun, kuat tekan rata-rata geopolimer dengan pembakaran RHA secara manual diperoleh kuat tekan mortar rata-rata sebesar 5,154 MPa.

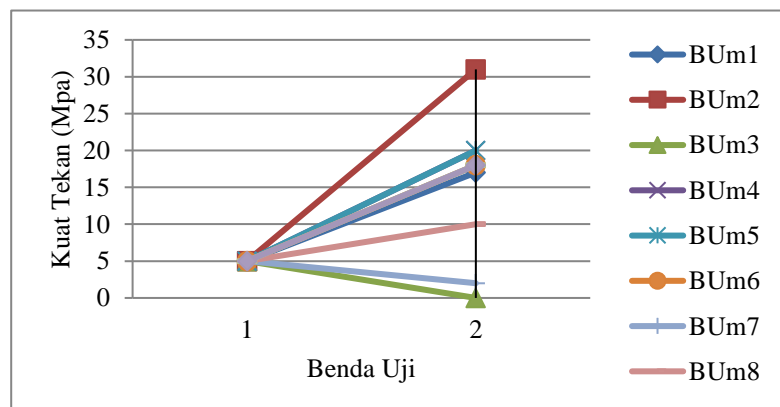
Tabel 4. Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHA Pembakaran Manual

No.	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Berat (gr)	Kuat Tekan (MPa)
1.	RHAm 1	28	177,8	5,17
2.	RHAm 2	28	182,0	5,31
3.	RHAm 3	28	176,4	5,00
4.	RHAm 4	28	180,6	5,20
5.	RHAm 5	28	182,0	5,20
6.	RHAm 6	28	175,0	5,18
7.	RHAm 7	28	189,0	5,02
8.	RHAm 8	28	182,0	5,10
9.	RHAm 9	28	179,2	5,18
10.	RHAm 10	28	182,0	5,18

Dari hasil pengujian kuat tekan terlihat kuat tekan rata-rata beton mortar geopolimer dengan RHA dari hasil pembakaran manual lebih tinggi dari kuat tekan rata-rata RHA *furnace*. Hal ini membuktikan pada partikel yang berbentuk kristal terjadi ikatan geopolimer yang tidak sempurna, ditandai dengan nilai kuat tekan yang lebih rendah dari RHA manual.



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHa Dengan *Furnace*



Gambar 8. Grafik Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHa Dengan Manual

Pada **Gambar 7** diperlihatkan kuat tekan dari benda uji mortar geopolimer dengan RHA menggunakan *furnace*. Adapun, **Gambar 8** memperlihatkan mortar geopolimer dengan RHA yang diperoleh dengan pembakaran secara manual. Dari kedua gambar tersebut terlihat kuat tekan geopolimer RHA Manual lebih tinggi daripada RHA yang difurnace.

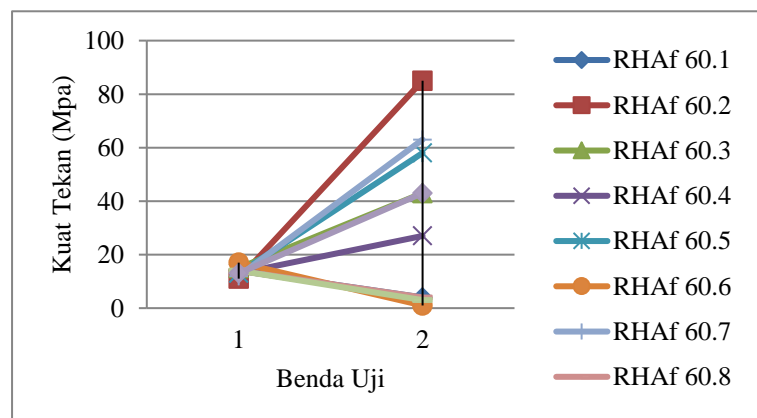
Pada penelitian ini sebanyak 10 buah benda uji mortar geopolimer kubus berukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm dilakukan perawatan pada suhu 60°C, baik material yang dibuat dari RHA dengan *furnace* maupun RHA dengan cara manual. Hasil kuat tekan mortar geopolimer tersebut diperlihatkan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** berikut.

Tabel 5. Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHA *Furnace* *Dicuring* Pada Suhu 60°C

No.	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Berat (gr)	Kuat Tekan (MPa)
1.	RHAf 60.1	28	138,6	14,4
2.	RHAf 60.2	28	149,7	11,85
3.	RHAf 60.3	28	154,0	15,43
4.	RHAf 60.4	28	136,0	13,27
5.	RHAf 60.5	28	142,5	13,58
6.	RHAf 60.6	28	165,7	17,1
7.	RHAf 60.7	28	145,0	12,63
8.	RHAf 60.8	28	134,0	14,4
9.	RHAf 60.9	28	160,2	14,3
10.	RHAf 60.10	28	149,0	13,43

Tabel 6. Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHA Manual *Dicuring* Pada Suhu 60°C

No.	Kode Benda Uji	Umur (hari)	Berat (gr)	Kuat Tekan (MPa)
1.	RHAm 60.1	28	183,2	16,13
2.	RHAm 60.2	28	187,0	17,31
3.	RHAm 60.3	28	178,4	16,7
4.	RHAm 60.4	28	185,2	16,9
5.	RHAm 60.5	28	189,0	17,26
6.	RHAm 60.6	28	172,0	17,6
7.	RHAm 60.7	28	174,0	17,57
8.	RHAm 60.8	28	185,0	18,36
9.	RHAm 60.9	28	170,2	15,13
10.	RHAm 60.1	28	175,3	16,58

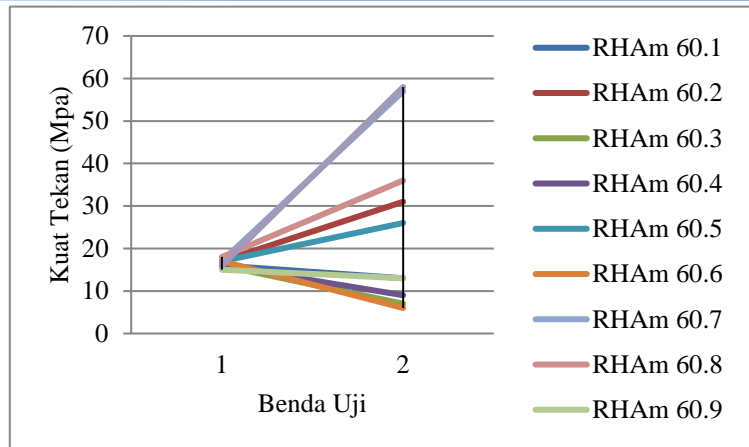


Gambar 9. Grafik Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHA Dengan *Furnace* Yang Dirawat Pada Suhu 60°C

Pengujian kuat tekan pada temperatur 60°C, baik material RHA yang *dicuring* maupun material RHA manual yang dirawat pada temperatur 60°C terlihat kuat tekannya meningkat dibandingkan dengan material RHA yang dirawat di suhu ruangan. [13] Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat. Hal ini membuktikan bahwa terjadi pengikatan geopolimer secara sempurna pada benda uji yang dirawat pada suhu ruangan.

Berdasarkan referensi [14] dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kadar air, kondisi pada saat *curing*, dan kalsinasi pada kaolin *clay* dapat mempengaruhi sifat dari geopolimer.

Pada proses sintesis geopolimer ada beberapa parameter penting yang mempengaruhi sifat geopolimer. Berdasarkan referensi [15] dalam penelitiannya menyampaikan bahwa suhu saat proses *curing* merupakan akselerator reaksi pada geopolimer. Pada suhu 60°C ion kation Na⁺ akan lebih reaktif, sehingga dapat meningkatkan kelarutan mineral aluminosilikat [16].



Gambar 10. Grafik Kuat Tekan Mortar Geopolimer RHa Dengan Manual Yang Dirawat Pada Suhu 60°C

Satu atau lebih monomer dan oligomer dapat melakukan kondensasi (polikondensasi) pada kondisi yang lebih dari satu membentuk rantai polimer yang berikatan Si-O-Al yang lebih panjang dan lebih kompleks. Rantai polimer berikatan Si-O-Al akan mengalami pepadatan (*solidification*) yang menjadi penyebab peningkatan kekuatan mortar beton geopolimer. Itulah sebabnya mengapa pasta geopolimer yang sudah mengeras perlu dirawat pada suhu yang sedikit lebih tinggi dari suhu ruangan [16], [17] .



Gambar 11. Benda Uji Kubus Geopolimer RHA *Furnace*



Gambar 12. Pengujian Benda Uji Kubus Geopolimer RHA Dengan Mesin Kuat Tekan

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini membuktikan bahwa pengaruh ukuran butiran yang diperoleh berdasarkan pembakaran abu sekam padi (RHA) secara manual berbeda dari ukuran butiran yang dihasilkan dengan alat pembakaran *furnace*. Ukuran butiran yang dihasilkan dari alat pembakaran *furnace* butirannya berbentuk kristal, sedangkan ukuran butiran dari hasil pembakaran manual berbentuk amorf.

Dari hasil pengujian kuat tekan, material geopolimer berbentuk amorf lebih tinggi kuat tekannya dibandingkan material berbentuk kristal. Rantai geopolimer dari partikel yang berbentuk amorf merupakan senyawa geopolimer yang sempurna. Sehingga, menghasilkan ikatan geopolimer yang lebih stabil.

Hasil pengujian kuat tekan terhadap benda uji kubus yang dirawat dalam suhu ruangan, baik dengan menggunakan material RHA hasil *furnace* maupun dari RHA manual berbeda dengan hasil kuat tekan yang dirawat dalam suhu yang lebih tinggi dari suhu ruangan. Hasil kuat tekan menunjukkan kuat tekan kubus yang dirawat dalam temperatur 60°C dengan menggunakan bahan RHA manual lebih tinggi dari nilai kuat tekan kubus yang dirawat dalam suhu kamar. Demikian pula, hasil kuat tekan dari benda uji kubus yang dibuat dengan menggunakan RHA *furnace* dirawat dalam suhu 60°C mempunyai kekuatan yang lebih besar dari benda uji kubus yang dibuat dengan RHA *furnace* dan dirawat dalam suhu ruangan.

5. Referensi

- [1] Katsuki, H., et al. *ZSM -5- Zeolite porous carbon composite: Conventional and Microwave-Hydrothermal Synthetic from Carbonized Rice Husk, Microporous and Mesoporous Materials*. 2005, vol. 86 (1): 145-151.
- [2] Davidovits, J. *Geopolymer Chemistry and Applications*. France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2008.
- [3] Young, J. F., Bentur, A., Mindess, S., *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*. New Jersey: Sidalc.net November 2016.
- [4] Hardjito, D., Rangan, D. V. *Development and Properties of Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Research Report Australia: Faculty of Engineering, Curtin University of Technology. 2005.
- [5] Davidovits, J. *Properties of Geopolymer Cement*. Proceeding International Conference on Alkaline Cement and Concrete. Ukraina: Kiev State Technical University. 1994.
- [6] S. Niken. *Kajian terhadap Beton Geopolimer dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi*. Bandung: Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung. 2010.
- [7] Kusumastuti, E. *Geopolimer Abu Layang Batu Bara: Studi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ dan Sifat-sifat Geopolimer yang Dihasilkan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November. 2009.
- [8] Anwar, S., Kusumastuti, E., *Pemanfaatan Serat Batang Pohon Pisang dalam Sintesis Geopolimer*. Jakarta: Indonesian Journal of Chemical Science, vol. 5 (1): 12-18. 2016.
- [9] Hwang, C. L., Huynh, T. P. *Effect of Alkali-Activator on High Rice Husk Ash Content on Strength Development of Fly Ash and Residual Rice Husk Ash Based Geopolymers*. Construction and Building Materials, vol. 101: 1-9. 2015.
- [10] He, J., et al. *Synthesis and Characterization of Red Mud and Rice Husk Ash-Based Geopolymer Composite*. USA: Louisiana State University Department of Civil and Environmental Engineering. 2013.
- [11] Bakherev, T. *Resistance of Geopolymer Materials to Attach*. Cement and Concrete Research, vol. 35: 658-670. 2005.
- [12] C. Y. Heah., etc. *Study on Solid to Liquid Alkaline Activator and Kaolin Based Geopolymer*. Construction and Building Journal, vol. 13: 12-922. 2012.
- [13] ASTM C39M. *Standard Test Method for Compressive Silica Cylindrical Concrete Specimens*. United State: West Conshobocken. 2014.
- [14] Van Jaarsveld, J. G. S., Van Deventer, J. S. J., Lorenzen, L. *Factors Affecting the Immobilization of Metal in Geopolymerized Fly Ash*. Metallurgical and Materials Transactions B, 29 (1): 283-291. 1998.
- [15] Palomo, M., Grutzeck, M. W., Blanco, M. T. *Alkali-Activated Fly Ashes-a cement for the future*. Cement Concrete Research, 29: 1323-1329. 1999.
- [16] Xu, H., Van Deventer. *The Geopolymerisation of Alumino-silicate Minerals*. International Journal of Mineral processing, 59: 247-266. 2000.
- [17] Yun Yong Kim., etc. *Strength and Durability Performance of Alkali Activated Rice Husk Ash Geopolymer Mortar*. Hindawi Publishing Corporation Scientific World Journal, pp. 305-315. 2014.
- [18] Wang, S., Vipulanandan, C. *Solidification/Stabilization of Cr (VI) with Cement: Leachability and XRD Analysis*. Cement and Concrete Research, 30 (3): 385-389. 2000.
- [19] Singh, N. B., Rai, S., Chaturelli, S. *Hydration of Composite Cement Progress in Kristal Growth and Characterization of Material*, pp. 171-179. 2002.