

SINTESIS SEMEN GEOPOLIMER BERBAHAN DASAR ABU VULKANIK DARI ERUPSI GUNUNG MERAPI

Athanasius P. Bayuseno, Susilo Adi Widyanto dan Juwantono

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: abayuseno@yahoo.com

ABSTRACT

Recently, it has been paid more attention to reduce the carbon dioxide emission from cement industry by introducing the new technology of producing green cement. In the same time, the Merapi eruption has produced the million ton of volcanic ash which is potentially attractive for used as raw material of geopolimer. In this research, geopolimer material was synthesized from volcanic ash and then mixed by alkaline solution of sodium hydroxide and sodium silicate at variation of heating temperature, heating time, and hardening time. The objective of this research was to study about feasibility of volcanic ash as raw material for making geopolimer materials and to determine the optimum process for getting high compressive strength as well as to determine the composition of geopolimer precursor. In this research, chemical composition of the volcanic ash was previously determined by XRF, while the phase composition of the geopolimer obtained by XRD analysis. Results show that volcanic ash contains alumina and silica as dominant compounds, while the mineral phase is dominated by Albite. The highest compressive strength of mortar is obtained at 16,81 MPa, produced from specimens which were heated for 12 hours and at temperature of 80 °C, and aged for 30 days.

Keywords: Geopolimer, Volcanic ash, Compressive strength of mortar and Albite.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Geopolimer merupakan kelompok material aluminosilikat yang pertama kali ditemukan oleh Joseph Davidovits pada tahun 1978 [1, 2]. Sesuai dengan penelitian awalnya, berbagai mineral alam Al-Si, limbah maupun terak dapat berfungsi sebagai sumber bahan baku untuk sintesis geopolimer [3]. Selanjutnya geopolimer sering disebut geopolimer anorganik (*inorganic geopolimer*) berkembang sangat pesat sebagai material teknik yang unik dan penting didalam industri produk bahan bangunan maupun konstruksi jalan raya yang berwawasan lingkungan [4].

Selama ini semen biasa jenis Portland dalam sintesisnya sangat bergantung pada kehadiran unsur kalsium (Ca), sebaliknya geopolimer anorganik tidak memerlukan pembentukan kalsium-silika-hydrates (CSH) dalam pembentukan matrik dan kekuatannya [5]. Perbedaan struktur mikro ini menyebabkan geopolimer anorganik memiliki keunggulan seperti mudah mencapai kekerasan/kekuatan dibandingkan dengan pengikat semen konvensional. Seperti ditunjukkan oleh hasil penelitian sebelumnya bahwa sifat fisik dan kimia geopolimer anorganik sangat stabil pada kondisi lingkungan asam. Dalam banyak aplikasi, geopolimer anorganik juga memiliki sifat unggul dibandingkan dengan semen Portland (*ordinary Portland cement -OPC*) terutama dalam hal sifat tekannya dan juga ketahanan terhadap asam maupun api [6].

Untuk alasan ini semen geopolimer telah mencapai taraf komersialisasi dan harganya sangat kompetitif dibandingkan dengan harga semen pada umumnya. Ada beberapa penelitian yang telah membahas tentang komposisi kimia dan penerapan geopolimer anorganik untuk stabilisasi logam berat dan toksid [4], sementara penelitian lain menyajikan hasil tentang sifat mekanik dan aplikasi geopolimer sebagai bahan teknik/konstruksi [7]. Namun demikian masih sedikit penelitian yang mengupas tentang pengaruh komposisi fasa dan struktur mikro abu vulkanik lokal terhadap sifat mekanik. Dilain pihak bencana letusan gunung Merapi di Jawa-Tengah telah menghasilkan banyak mineral vulkanik dimana bahan ini sangat potensial sebagai bahan dasar geopolimer yang murah.

Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian tentang sintesis semen geopolimer dengan memanfaatkan abu vulkanik tersebut. Pada hal sifat mekanik geopolimer sebagai bahan perekat beton dipengaruhi oleh komposisi fasa (*amorphous and crystalline phase*) [8] dan struktur mikronya (*particle size and morphology*), maka dari itu kegiatan penelitian ini diarahkan pada pencapaian tentang pemahaman hubungan komposisi kimia dan fasa bahan baku dengan mekanisme geopolimerisasi serta pengembangan beton geopolimer dengan abu vulkanik agar dapat memenuhi standar industri. Dalam tulisan ini disajikan hasil penelitian dalam memanfaatkan bahan abu vulkanik untuk pembuatan sintetik semen geopolimer yang disertai hasil karakterisasi geopolimer yang dihasilkan. Manfaat penelitian diharapkan dapat

memberikan solusi pengendalian emisi karbon dioksida serta menghasilkan semen yang ramah lingkungan.

Tinjauan Pustaka

Geopolimer merupakan semen yang diaktivasi dengan larutan alkali. Bahan baku yang terdiri dari aluminium dan silikon akan larut dalam larutan alkali yang tinggi. Selanjutnya unsur yang larut kemudian mengalami polimerisasi/polikondensasi untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik yang diinginkan. Meskipun penelitian geopolimer telah lama dipublikasikan sebagai semen yang diaktivasi secara alkali atau semen alkali namun istilah geopolimer lebih umum digunakan sebagai pengganti nama semen alkali.

Geopolimer merupakan semen yang diaktivasi dengan larutan alkali. Bahan baku yang terdiri dari aluminium dan silikon akan larut dalam larutan alkali yang tinggi. Selanjutnya unsur yang larut kemudian mengalami polimerisasi/polikondensasi untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik yang diinginkan. Meskipun penelitian geopolimer telah lama dipublikasikan sebagai semen yang diaktivasi secara alkali atau semen alkali namun istilah geopolimer lebih umum digunakan sebagai pengganti nama semen alkali.

Semen Portland dibuat dengan mengkalsinasi campuran batu kapur (*limestone*) dengan tanah liat (*clay*) pada suhu tinggi untuk menghasilkan suatu produk sinter clinker, yang kemudian dihaluskan untuk menghasilkan semen. Semen Portland terdiri berbagai senyawa oksida yang disajikan didalam Tabel 1. Pada saat *setting* dan pengerasan, oksida bereaksi dengan air untuk membentuk sedikit kalsium silikat hidrate ($C_3S_2H_3$) dan kapur $[Ca(OH)_2]$. Oksida C_3S dan C_3A bertanggung jawab terhadap kekuatan awal, sementara C_2S mengeras pada laju yang lebih lambat dan bertanggung jawab terhadap sebagai besar kekuatan akhir semen [11].

Tabel 1. Komponen utama semen Portland [11]

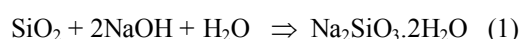
Nama senyawa	Komposisi oksida	Singkatan oksida
Tri-calcium silicate	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Di-calcium silicate	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Tri-calcium aluminate	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetra-calcium aluminoferrate	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Komposisi oksida dapat divariasikan untuk menghasilkan berbagai jenis semen Portland biasa (*ordinary*), tahan terhadap sulphate, panas rendah, pengerasan cepat maupun semen dengan kadar alumina tinggi. Dilain pihak geopolimer terbentuk dari fusi material silika dan alumina. Perbandingan komposisi kimia untuk jenis semen Portland dan semen geopolimer disajikan didalam Tabel 2 dimana menunjukkan perbedaan komposisi kimia yang kontras.

Tabel 2. Rentang komposisi yang lazim dari semen geopolimer dan Portland

Oksida	Kadar semen Portland	Kadar semen geopolimer
CaO	60 - 67 %	11 %
SiO ₂	17 - 25 %	59 %
Al ₂ O ₃	3 - 8 %	18 %
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6.0 %	-
MgO	0.5 - 4.0 %	3 %
K ₂ O, Na ₂ O	0.3 - 1.2 %	9 %
SO ₃	2.0 - 3.5 %	-

Beton yang diproduksi menggunakan semen Portland sensitif terhadap reaksi alkali aggregate (AAR) yang terjadi ketika alkali bereaksi dengan silika bebas atau reaktif silika didalam aggregate untuk membentuk gel silika-alkali [11]. Hasil akhir gel silika-alkali dapat menyerap air dan berekspansi menyebabkan partikel *aggregate* dan semen retak. Persamaan kimia AAR sebagai berikut:



Silika Alkali air Alkali-silica gel

Sebaliknya beton yang diproduksi menggunakan geopolimer tidak sensitif terhadap reaksi alkali aggregate (AAR) meskipun alkali bereaksi dengan silika bebas atau silikat reaksi yang ada didalam aggregate atau pengikat semen. Didalam geopolimerisasi, kadar alkali tinggi (KOH, NaOH) (pH 13-14) menyebabkan pembentukan gel poly(silico-oxo-aluminate), disingkat poly(sialate-siloxo), yang mengeras akibat kristalisasi.

Karakteristik abu vulkanik

Abu vulkanik merupakan mineral batuan vulkanik termasuk material glass yang memiliki ukuran sebesar pasir dan kerikil dengan diameter kurang lebih 2 mm (1/2 inchi) yang merupakan hasil erupsi gunung

berapi. Partikel abu sangat kecil tersebut dapat memiliki penampang lebih kecil dari 0,001 mm (1/25,000th of an inch). Abu vulkanik bukan merupakan produk pembakaran seperti abu terbang yang lunak dan halus seperti hasil pembakaran kayu, daun atau kertas. Abu vulkanik memiliki sifat sangat keras dan tidak larut didalam air sehingga seringkali sangat abrasive dan sedikit korosif serta mampu menghantarkan listrik ketika dalam keadaan basah.

Abu vulkanik terbentuk selama erupsi vulkanik secara eksplosif gunung berapi. Erupsi eksplosif terjadi ketika gas larut didalam batuan cair (magma) yang mengalami ekspansi dan melepaskan secara ledakan kedalam udara, dan juga ketika air dipanaskan oleh magma dan melepas secara tiba-tiba kedalam uap. Gaya pelepasan gas bersuara keras mematahkan batuan padat. Sementara gas yang berekspansi juga mendesak magma dan meledak keudara, selanjutnya ketika dia membeku terbentuk kedalam pecahan-pecahan batuan kecil vulkanik dan gelas. Pada saat diudara angin akan menghembus butiran abu kecil tersebut sejauh beberapa kilometer dari pusat erupsi.

Telah bertahun-tahun dipahami bahwa campuran abu vulkanik dan batuan serbuk (*siliceous*) dengan kapur akan menghasilkan semen hidraulik. Sebuah penelitian pada struktur bangunan Romawi dan Mesir kuno memberikan bukti efektif dan ketahanan semen ini. Bukti lapisan semen hidraulik pada sebuah penampung air (*cistern*) di Kamiros, Rhodes (230 km selatan Santorini) pada abad ke 6 atau 7 sebelum masehi masih ada. Semen alami pozzolan merupakan bahan mellinium yang masih ada untuk lapisan tangki penampung air dan kanal sebagai pengikat batuan maupun struktur tahan air dan bangunan monumen.

Abu vulkanik saat ini masih digunakan diberbagai negara seperti Mesir, Itali, Jerman, Mexico dan China karena dapat menurunkan biaya dan meningkatkan kualitas dan ketahanan beton. Ketika abu vulkanik menimbulkan sementasi dalam, maka akan bertransformasi kedalam batuan lunak disebut (*Tuff*). Karena kualitasnya lebih rendah dibandingkan dengan batuan lain (kekuatan lebih rendah dan tahanan korosinya), tuff sering kali ditanam dan digunakan sebagai batuan gedung.

Abu vulkanik merupakan mineral batuan vulkanik termasuk material glass yang memiliki ukuran sebesar pasir dan kerikil dengan diameter kurang lebih 2 mm (1/2 inchi) yang merupakan hasil erupsi gunung berapi. Partikel abu sangat kecil tersebut dapat memiliki penampang lebih kecil dari 0,001 mm (1/25,000th of an inch). Abu vulkanik bukan merupakan produk pembakaran seperti abu terbang yang lunak dan halus seperti hasil pembakaran kayu, daun atau kertas. Abu vulkanik memiliki sifat sangat keras dan tidak larut didalam air sehingga seringkali sangat abrasive dan sedikit korosif serta mampu menghantarkan listrik ketika dalam keadaan basah.

Abu vulkanik terbentuk selama erupsi vulkanik secara eksplosif gunung berapi. Erupsi eksplosif terjadi ketika gas larut didalam batuan cair (magma) yang mengalami ekspansi dan melepaskan secara ledakan kedalam udara, dan juga ketika air dipanaskan oleh magma dan melepas secara tiba-tiba kedalam uap. Gaya pelepasan gas bersuara keras mematahkan batuan padat. Sementara gas yang berekspansi juga mendesak magma dan meledak keudara, selanjutnya ketika dia membeku terbentuk kedalam pecahan-pecahan batuan kecil vulkanik dan gelas. Pada saat diudara angin akan menghembus butiran abu kecil tersebut sejauh beberapa kilometer dari pusat erupsi.

Telah bertahun-tahun dipahami bahwa campuran abu vulkanik dan batuan serbuk (*siliceous*) dengan kapur akan menghasilkan semen hidraulik. Sebuah penelitian pada struktur bangunan Romawi dan Mesir kuno memberikan bukti efektif dan ketahanan semen ini. Bukti lapisan semen hidraulik pada sebuah penampung air (*cistern*) di Kamiros, Rhodes (230 km selatan Santorini) pada abad ke 6 atau 7 sebelum masehi masih ada. Semen alami pozzolan merupakan bahan mellinium yang masih ada untuk lapisan tangki penampung air dan kanal sebagai pengikat batuan maupun struktur tahan air dan bangunan monumen.

Abu vulkanik saat ini masih digunakan diberbagai negara seperti Mesir, Itali, Jerman, Mexico dan China karena dapat menurunkan biaya dan meningkatkan kualitas dan ketahanan beton. Ketika abu vulkanik menimbulkan sementasi dalam, maka akan bertransformasi kedalam batuan lunak disebut (*Tuff*). Karena kualitasnya lebih rendah dibandingkan dengan batuan lain (kekuatan lebih rendah dan tahanan korosinya), tuff sering kali ditanam dan digunakan sebagai batuan gedung.

METODE PENELITIAN

Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi antara lain:

a. Abu Vulkanik

Abu vulkanik merupakan bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan material geopolimer, sementara abu vulkanik untuk penelitian dapat diperoleh dari Desa Banyuanyar Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali saat Gunung Merapi tersebut meletus dimana abu vulkanik tersebut mengandung sekitar 53% silika dan 18% alumina.

b. Sodium Hidroksida

Sodium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai media cairan bahan campuran untuk membuat material geopolimer, sodium hidroksida ini diperoleh dari CV. Indra Sari Semarang.

c. *Sodium Silikat*

Sodium silikat (Na_2SiO_3) juga digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat material geopolimer, sodium silikat ini juga diperoleh dari CV. Indra Sari Semarang.

d. *Aquades*

Aquades (H_2O) digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat material geopolimer yaitu untuk melarutkan sodium hidroksida dan sodium silikat, aquades ini juga diperoleh dari CV. Indra Sari Semarang.

Pengujian komposisi kimia abu vulkanik

Pada penelitian ini sebelum abu vulkanik digunakan untuk membuat material geopolimer, maka abu vulkanik tersebut perlu dilakukan pengujian komposisi kimianya dengan metode XRF. Pengujian dilakukan di Program Studi Ilmu Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Metode XRF telah secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar -x tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi.

Proses sintesis bahan geopolimer

Pembuatan campuran material geopolimer ini dilakukan dengan cara *trial and error*, yaitu dilakukan secara coba-coba sehingga diharapkan dapat memperoleh nilai kuat tekan yang optimum pada material geopolimer tersebut, dengan cara mengatur komposisi prekursor dan aktivator alkali. Kemudian komposisi seluruh pembuatan material geopolimer ini ditentukan dengan persentase berikut ini:

Abu vulkanik = 233,3 gram (68,7%)

Sodium hidroksida = 13,3 gram (3,90%)

Sodium silikat = 33,3 gram (9,75%)

Aquades = 61,6 gram/66,6 mL (18,03%)

Kemudian mencampur bahan-bahan yang akan digunakan yaitu sodium hidroksida dilarutkan terlebih dahulu ke dalam air berdasarkan komposisi yang telah direncanakan, kemudian sodium silikat di masukkan ke dalam larutan sodium hidroksida dan air, kemudian larutan tersebut didiamkan selama 10 menit. Setelah itu larutan tersebut di campur dengan abu vulkanik diaduk sampai rata hingga di dapat *workability*.

Setelah selesai di campur material tersebut kemudian dimasukkan kedalam cetakan logam yang berbentuk kubus dengan ukuran 50 x 50 x 50 mm.

Material yang telah dimasukkan ke dalam cetakan kemudian di diamkan selama 60 menit sebelum dimasukkan ke dalam oven.

Pada proses pemanasan material ini dilakukan beberapa variasi temperatur pemanasan yaitu 40 °C, 60 °C dan 80 °C serta variasi lama waktu pemanasan yaitu 8, 16 dan 24 jam. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan lama pemanasan terhadap kuat tekan.

Setelah dipanaskan kemudian material di diamkan beberapa jam kemudian spesimen tersebut dilepaskan dari cetakan dan didiamkan beberapa hari pada suhu ruang sesuai dengan variasi umur material yaitu 7, 14, 21 dan 28 hari, variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh umur material terhadap kuat tekan material geopolimer.

Pengujian XRD

Pelaksanaan pengujian XRD dilakukan menggunakan mesin *X-Ray Diffraction* (XRD) Merk *Rigaku Corporation* di Laboratorium Terpadu Teknik Geologi, Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Spesimen uji XRD merupakan spesimen material geopolimer yang telah di panaskan pada suhu 80 °C selama 12 jam.

Pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan berdasarkan standard ASTM [9] dilakukan menggunakan *Computer control servo hidraulic concrete compression testing machine* di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Jumlah spesimen uji kuat tekan material geopolimer sebanyak 26 sampel dengan variasi suhu pemanasan, lama waktu pemanasan dan umur material geopolimer.

Data yang didapatkan secara langsung dari pengujian ini adalah beban gaya maksimum yang dapat diterima sampel dapat terbaca sebagai puncak pada grafik. Beban maksimum dapat dikalkulasi menjadi kuat tekan dalam satuan MPa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia abu vulkanik

Pengujian komposisi kimia abu vulkanik dilakukan dengan metode XRF sesuai prosedur yang diuraikan dalam bagian 2.1 dan hasilnya disajikan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Komposisi Kimia Abu Vulkanik

No.	Senyawa Kimia	Persentase Berat Kering (%)
1.	SiO_2	53,80
2.	Al_2O_3	18,26
3.	CaO	12,31

4.	Fe ₂ O ₃	10,62
5.	K ₂ O	3,32
6.	TiO ₂	1,13
7.	MnO ₂	0,53

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa abu vulkanik memiliki kandungan senyawa silika sebesar 53,80% dan alumina sebesar 18,26%, oleh sebab itu material abu vulkanik dari gunung Merapi merupakan prekursor potensial untuk sintesis material geopolimer karena kandungan alumina dan silika sangat dominan pada abu vulkanik tersebut. Pada prinsipnya senyawa alumina dan silika merupakan komponen penting didalam reaksi geopolimerisasi yaitu reaksi oksida alumino-silicate oxide dengan alkali polysilicates didalam larutan alkali menghasilkan:

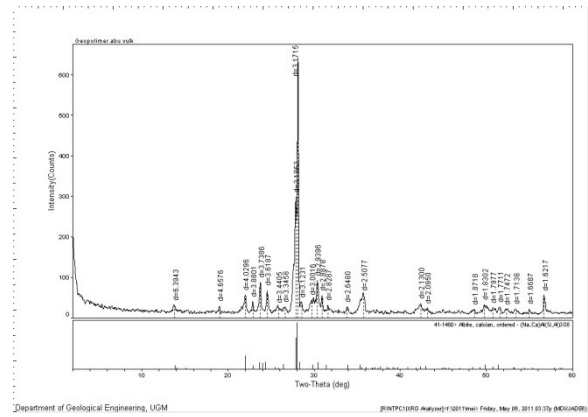
Ikatan polymer Si–O–Al bond sebagai berikut:



dimana M adalah unsur alkalin, z adalah 1, 2 atau 3 dan n adalah tingkat polimerisasi. Davidovits [1] telah merekomendasikan bahwa nilai batas tertentu ada untuk sintesis pembentukan produk yang kuat, dimana komposisi yang memuaskan terletak didalam rentang M₂O/SiO₂, dari 0.2 sampai 0.48; SiO₂/Al₂O₃, 3.3 to 4.5; H₂O/M₂O, 10–25; dan M₂O/Al₂O₃, 0.8 to 1.6. Selanjutnya alumino-silicate geopolimer telah dikelompokkan kedalam tiga keluarga besar tergantung ratio atom Si/Al pada harga 1, 2 atau 3. Berdasarkan perhitungan abu vulkanik Merapi memiliki rasio SiO₂/Al₂O₃ pada harga 2,9 jadi masih diluar rentang harga diatas, oleh sebab itu perlu aktivator alkali yang kuat serta bahan additif untuk mengaktivasi alumina dan silica dalam pembentukan geopolimer.

Identifikasi fasa didalam sintetik geopolimer dengan metode XRD

Data yang dihasilkan melalui pengujian XRD mencapai ribuan data namun hanya diambil beberapa data yang memiliki puncak tertinggi dengan tujuan mempermudah dalam menganalisis senyawa yang terkandung didalam material geopolimer berbahan dasar abu vulkanik. Data hasil pengujian XRD material geopolimer disajikan pada pada Gambar 1.

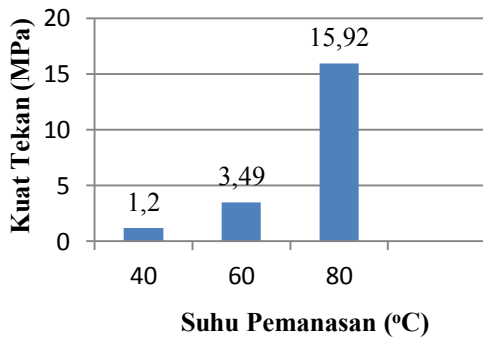


Gambar 1. XRD komposisi fasa geopolimer

Kandungan mineral dari material geopolimer berbahan dasar abu vulkanik dapat diketahui dengan membandingkan *peak* yang dihasilkan dari pengujian XRD dengan *database* JCPDS-ICDD (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards – International Center for Diffraction Data*). JCPDS-ICDD merupakan sekumpulan data *powder* XRD dari hasil penelitian yang telah dilakukan peneliti di seluruh dunia. Kecocokan *peak* hasil pengujian dengan *database Albite*. Berdasarkan data XRD diatas pembentukan geopolimer belum optimal, kemungkinan keberadaan fasa gelas masih dominan didalam larutan alkali NaOH, sehingga perlu aktivator yang kuat dalam mendorong reaksi aktivasi geopolimer.

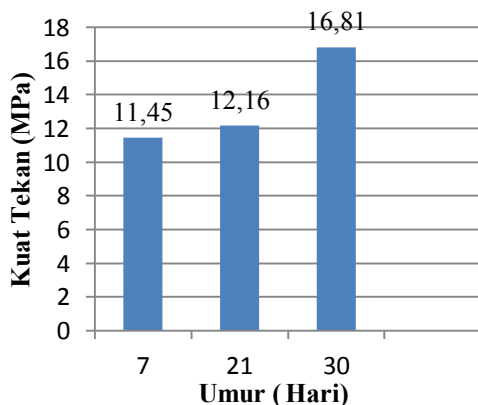
Kuat tekan mortar berbahan dasar geopolimer

Pada pengujian kuat tekan ini didapatkan 26 data pengujian kuat tekan yang dikelompokkan menjadi 3 variasi utama yaitu suhu pemanasan (*curing*), umur material dan lama pemanasan geopolimer. Gambar 2 menunjukkan nilai kuat sebagai suhu pemanasan, dimana nilai kuat tekan yang paling tinggi adalah sebesar 15,92 MPa pada suhu pemanasan 80 °C. Pada pemanasan 40 °C dan 60 °C nilai kuat tekan material geopolimer sangat kecil sekali. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan nilai kuat tekan akan semakin besar namun berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya tentang material geopolimer bahwa pemanasan diatas suhu 100 °C nilai kuat tekan akan semakin menurun hal ini disebabkan karena larutan aktivator akan cepat menguap pada suhu di atas 100 °C, dalam hal ini larutan aktivator juga sangat berpengaruh dalam proses polimerisasi sehingga juga merupakan faktor yang menentukan nilai kuat tekan.



Gambar 2. Nilai kuat tekan mortar sebagai fungsi suhu curing

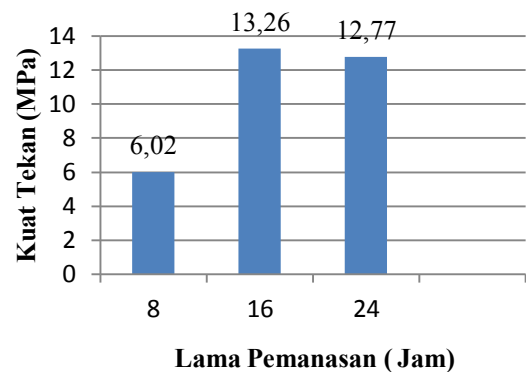
Gambar 3. menunjukkan nilai kuat tekan sebagai fungsi umur pengerasan dimana semakin lama umur material maka nilai kuat tekan akan mengalami peningkatan, nilai kuat tekan yang paling tinggi yaitu pada umur material 30 hari sebesar 16,81 MPa. Hal ini menunjukkan sama dengan teori pada beton semen portland bahwa nilai kuat tekan akan mengalami peningkatan yang cukup besar ketika umur material beton pada bulan pertama dan biasanya semakin lama lagi umur material pada beton akan mengalami peningkatan nilai kuat tekan namun tak sebesar ketika umur material pada bulan pertama, hal ini juga menunjukkan bahwa pada material geopolimer juga akan mengalami peningkatan nilai kuat tekan pada umur material ketika pada bulan pertama.



Gambar 3. Nilai kuat tekan mortar sebagai fungsi umur pendinginan

Gambar 4 menunjukkan nilai kuat tekan sebagai fungsi lama pemanasan dimana semakin lama pemanasan tidak akan selalu berpengaruh terhadap nilai kuat tekan, pada pembuatan material geopolimer ini dengan variasi lama pemanasan didapatkan nilai kuat tekan yang paling tinggi yaitu sebesar 13,26 MPa pada pemanasan selama 16 jam. Nilai kuat tekan pada pemanasan selama 24 jam pada pembuatan material geopolimer ini akan mengalami penurunan.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya tentang material geopolimer bahwa semakin lama pemanasan yaitu sampai 72 jam maka nilai kuat tekan akan mengalami maksimum namun akan mengalami penurunan lagi ketika dipanaskan selama 96 jam [10,11]. Hal ini menunjukkan kesamaan dengan penelitian ini yaitu lama pemanasan belum tentu akan mempengaruhi peningkatan nilai kuat tekan.



Gambar 4. Grafik hubungan lama pemanasan terhadap kuat tekan rata-rata

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian beberapa sintetik sampel berbasis abu vulkanik dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Abu vulkanik memiliki komposisi kimia SiO_2 dan Al_2O_3 yang paling dominan, sehingga abu vulkanik gunung Merapi ini layak digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat material geopolimer.
2. Berdasarkan pembuatan material geopolimer berbahan dasar abu vulkanik pada penelitian ini di dapatkan nilai kuat tekan yang paling optimum yaitu 16,81 MPa dengan pelakuan suhu pemsan 80 °C dan lama pemanasan 12 jam serta umur material 30 hari, maka material geopolimer berbahan dasar abu vulkanik ini layak untuk di aplikasikan sebagai batako (bata tras kapur).
3. Berdasarkan pengujian XRD pada material geopolimer senyawa yang paling tinggi didominasi oleh senyawa *Albite* dan fasa gelas.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada Laboratorium Metalurgi dan Jurusan Teknik Mesin atas dukungan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Davidovits, J. (1994). *Geopolymer: man-made rocks geosynthesis and the resulting development of very early high strength cement*. Journal of Materials Education 16, 91–139.
- [2] Davidovits, J., (1994). *Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials*. Journal of Materials Engineering 16, 91-139.
- [3] Xu, H., Van Deventer, J.S.J. (2000). *The geopolymerisation of alumino-silicate-minerals*. International Journal of Mineral Processing 59, 247–266.
- [4] Duxson, P., Provis, J.L., Lukey, G. C., van Deventer, J.S.J. (2007a). *The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'* Cement and Concrete Research 37, 1590–1597.
- [5] Komnitsas, K., Zaharaki, D. (2007). *Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry*. Minerals Engineering 20, 1261–1277.
- [6] Chindaprasirt, P., Chareerat, T., Sirivivatnanon, V. (2007). *Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymers*. Cement & Concrete Composites 29, 224–229.
- [7] Cioffi, R., Maffucci, L., Santoro, L. (2003). *Optimization of geopolymers synthesis by calcinations and polycondensation of a kaolinitic residue*. Resources Conservation and Recycling 40, 27–38.
- [8] Duxson, P., Ferná'ndez-Jime'nez, A., Provis J. L., Lukey G. C., Palomo A., van Deventer, S. J. (2007). *Geopolymer technology: the current state of the art*. Journal of Material Sciences 42, 2917–2933.
- [9] ASTM C140-01. (2001). *Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units*. Annual book of American Society for Testing and Materials; 2001.
- [10] Hardjito, D. Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J. and Rangan, B.V. (2004). *Brief Review of Development of Geopolymer Concrete*. George Hoff Symposium, American Concrete Institute, Los Vegas, USA, 25 May 2004.
- [11] Neville, A.M. (2004). *Properties of Concrete*. Fourth Edition. Pearson Education Limited, UK.