

PENGARUH PEMAKAIAN SODIUM HIDROKSIDA (NaOH) PADA PEMBUATAN GEOPOLIMER MENGGUNAKAN MATERIAL PERLIT, BASALT, FELDSPART

THE EFFECT OF USING SODIUM HYDROXIDE (NaOH) IN GEOPOLYMER MAKING USING MATERIALS NEED, BASALT, FELDSPART

Muhammad Amin¹, David Candra B², Kusno Isnugroho³,
Yusuf Hendronursito⁴, Reni Septiana⁵
Balai Penelitian Teknologi Mineral- LIPI^{1,2,3,4}
Fakultas MIPA, Jurusan Fisika Material UNILA⁵
E-mail: muhammad.amin@lipi.go.id^{1*)}

Dikirim 24 Januari 2019 Direvisi 22 Maret 2019 Disetujui 26 Maret 2019

Abstrak: Dilakukan penelitian tentang pembuatan geopolimer dengan material perlit, basalt dan feldspart dengan variasi NaOH 15 M, 25 M, 35 M dan 45 M. Dalam penelitian ini akan mengetahui pengaruh pemakaian NaOH dalam pembuatan geopolimer. Variabel dalam penelitian ini antara lain persen jumlah pemakaian perlit, basalt dan perlit serta variasi molaritas NaOH. Geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai material alternatif pengganti semen konvensional. Hasil analisa fisik dalam penelitian ini yang dilakukan pengukuran adalah absorpsi, porositas, susut bakar, berat jenis curah kering. Berdasarkan penelitian maka didapatkan hasil nilai susut bakar terendah dengan menggunakan material feldspart dengan kehalusan 200 mesh, sebesar 2,11%, nilai porositas terendah menggunakan material basalt dengan NaOH 35 M yaitu sebesar 20,73%, nilai absorpsi terendah diperoleh dengan menggunakan material basalt dengan variasi NaOH 45 M sebesar 11,17% dan hasil pengujian berat jenis curah kering tertinggi menggunakan material basalt dengan variasi NaOH sebanyak 45 M dengan nilai sebesar 1,88 gr/cm³. Berdasarkan hasil penelitian variasi NaOH berpengaruh pada nilai absorpsi dan porositas yaitu semakin besar persen penambahan NaOH maka nilai absorpsi dan nilai porositas semakin kecil dan berat jenis menjadi semakin tinggi sehingga menjadikan kekuatan geopolimer semakin meningkat.

Kata kunci: basalt, feldspart, perlit, geopolimer, NaOH, sodium silikat.

Abstract: Research was conducted on the manufacture of geopolymers with pearlite, basalt and feldspart materials with variations of NaOH 15 M, 25 M, 35 M and 45 M. In this study, we will know the effect of using NaOH in the manufacture of geopolymers. Variables in this study included percent of total use of pearlite, basalt and pearlite and variations in NaOH molarity. Geopolymers are environmentally friendly materials that are commonly developed as alternative materials to replace conventional cement. The results of physical analysis in this study that carried out measurements were absorption, porosity, fuel shrinkage, dry bulk density. Based on the research, the lowest fuel shrinkage value was obtained using feldspart material with 200 mesh fineness, at 2.11%, the lowest porosity value using basalt material with 35 M NaOH which was 20.73%, the lowest absorption value was obtained using basalt material with NaOH 45 M variation is 11.17% and the highest dry bulk density test results are using basalt material with 45 M NaOH variation with a value of 1.88 gr / cm³. Based on the results of the research variations of NaOH affect the absorption and porosity values which are increasingly the percentage of addition of NaOH, the value of absorption and the value of porosity are getting smaller and the density becomes higher so that the strength of geopolymers increases.

Keywords: basalt, feldspart, pearlite, geopolymer, NaOH, sodium silicate.

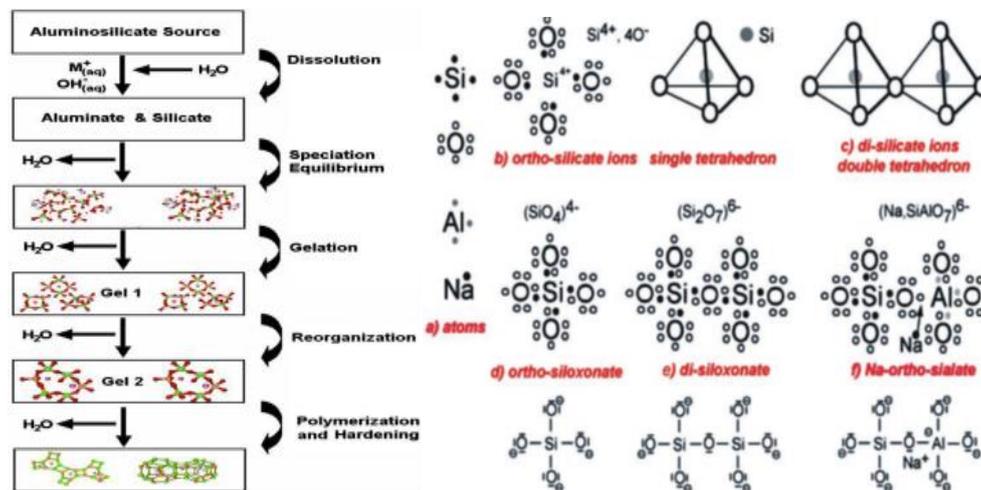
PENDAHULUAN

Geopolimer merupakan bahan atau material yang berupa anorganik yang disintesa melalui proses polimerasi. Terminologi geopolimer pertama kali digunakan oleh Profesor Davidovits pada tahun 1978 untuk menjelaskan tentang

mineral polimer yang dihasilkan melalui *geochemistry*. Geopolimer adalah bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa dari material yang banyak mengandung Silika (Si) dan Alumina (Al) yang berasal dari alam atau dari material hasil sampingan industri. Selama proses sintesa, atom silika dan alumina menyatu dan

membentuk blok yang secara kimia memiliki struktur yang mirip dengan batuan alam (Sumajouw dan Windah, 2014). Salah satu parameter penting dalam komposisi bahan awal adalah kuantitas senyawa-senyawa penting yang terlibat dalam pembentukan rantai geopolimer. Senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 yang merupakan oksida utama disamping oksida-oksida lain, sangat berperan penting dalam pembentukan rantai polimer Si-O-Al . Dalam geopolimerisasi terjadi aktivasi oleh larutan alkali pada material yang kaya akan SiO_2 dan Al_2O_3 dengan mekanisme yang melibatkan pelarutan Si dan Al, transportasi (orientasi) spesies terlarut dan diikuti oleh polikondensasi membentuk aluminosilikat berstruktur tiga dimensi. Oleh karena itu komposisi bahan awal (perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) akan menghasilkan rantai polimer dengan tipe dan karakter yang berbeda pada produk geopolimer yang dihasilkan (Kusumastuti, 2012). Mineral aluminosilikat seperti

kaolin dapat terlarut dalam larutan alkali silikat membentuk keramik yang keras. Sedikit larutan alkali yang ditambahkan pada kaolin akan melarutkan sebagian mineral aluminosilikat membentuk larutan alkali aluminosilikat yang akan berikatan dengan partikel aluminosilikat polimer yang ada dan membentuk suatu fasa baru bersifat keras setelah mengering. (Davidovits, 1994). Penambahan sodium silikat yang berfungsi sebagai aktivator dan sodium hidroksida (NaOH) yang berfungsi sebagai pereaksi alkali pada material geopolimer yang berasal dari alam atau buatan akan menghasilkan ikatan polimer (Muchtaz Aziz dan Azharim, 2014). Pembentukan rantai polimer Si-O-Al yang dalam geopolimerisasi terjadi aktivasi oleh larutan alkali pada material yang kaya akan SiO_2 dan Al_2O_3 dengan mekanisme yang melibatkan pelarutan Si dan Al yang membentuk struktur amorf dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Struktur amorf-semi kristal geopolimer (Davidovits, 1994)

Bahan baku utama yang diperlukan untuk pembuatan semen geopolimer adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), salah satu bahan baku yang banyak mengandung unsur silika dan alumina adalah batu basalt yang komposisi kimianya $\text{SiO}_2 = 40 - 55\%$ dan $\text{Al}_2\text{O}_3 =$

$12 - 17\%$ (Siddigui, R, 2015). Geopolimer merupakan bahan atau material yang berupa anorganik yang disintesa melalui proses polimerasi. Terminologi geopolimer pertama kali digunakan oleh Profesor Davidovits pada tahun 1978 untuk menjelaskan tentang mineral polimer yang dihasilkan melalui

geochemistry. Untuk alasan ini semen geopolimer telah mencapai taraf komersialisasi dan harganya sangat kompetitif dibandingkan dengan harga semen pada umumnya (Bayuseno, dkk, 2010). Material yang digunakan dalam pembuatan semen ini yaitu perlit, basal dan felspar. Selain variasi material, dilakukan pula variasi NaOH untuk mengetahui pengaruhnya terhadap semen geopolimer yang dibuat. NaOH (sodium hidroksida) merupakan oksidasi alkali yang reaktif dan merupakan oksidasi alkali reaktif dan merupakan basa yang kuat. NaOH dihasilkan melalui elektrolisis larutan NaCl. NaOH (sodium hidroksida) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Arini, dkk, 2013).

TINJAUAN PUSTAKA

A. *Geopolimer*

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 (Bayuseno, dkk, 2010).. Komposisi kimia material geopolimer serupa dengan Zeolit, tetapi memiliki mikrostruktur amorphous. Selama proses sintesa, atom silika dan alumina menyatu dan membentuk blok yang secara kimia memiliki struktur yang mirip dengan batuan alam (Sumajouw dan Windah, 2014). Geopolimer merupakan sintesis bahan-bahan produk sampingan seperti

abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*rice husk ash*) dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina (*prekursor*) membentuk sebuah senyawa silikat alumina anorganik. Beton geopolimer merupakan beton yang material utamanya mengandung banyak silika dan alumina tinggi yang direaksikan dengan alkali aktifator. Proses pembentukan beton geopolimer terbentuk melalui proses polimerisasi bahan yang mengandung silikat dan alumina tinggi yang direaksikan dengan menggunakan alkali aktifator (*polysilicate*) menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Dengan ikatan polimer ini maka akan terbentuk padatan berupa amorf sampai semi kristal (Pujiyanto, dkk, 2013). Geopolimer telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang antara lain sebagai bahan bangunan, komposit dan refraktori, insulator dan untuk penanganan limbah beracun. Pada awal perkembangannya, geopolimer disintesis dari material-material seperti kaolinit, lempung, metakaolinit dan mineral-mineral aluminosilikat murni sebagai prekursor, kemudian dikembangkan geopolimer dengan bahan dasar limbah industri seperti abu layang yang bersifat pozzolan. Salah satu parameter penting dalam komposisi bahan awal adalah kuantitas senyawa-senyawa penting yang terlibat dalam pembentukan rantai geopolimer. Senyawa SiO₂ dan Al₂O₃ yang merupakan oksida utama disamping oksida-oksida lain, sangat berperan penting dalam pembentukan rantai polimer Si-O-Al. Komposisi bahan awal (perbandingan SiO₂/Al₂O₃) akan menghasilkan rantai polimer dengan tipe dan karakter yang berbeda pada produk geopolimer yang dihasilkan (Kusumastuti, 2012).

B. *Perlit*

Perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit ($\alpha + Fe_3C$) dengan lapisan-lapisan halus. Fase ini terjadi dibawah temperatur 723°C. Perlit mempunyai sifat kuat dan keras dari ferit tetapi kurang ulet.

Pada waktu pendinginan dari austenit terjadi perubahan atau transformasi austenit. Bila pendinginan ini terjadi sangat cepat, karbon tidak sempat berdifusi sehingga terbentuknya fasa martensit (Darmawi dan Putra, 2009). Perlit (*perlite*) merupakan salah satu jenis gelas vulkanik yang mengembang dan berpori ketika dipanaskan. Perlit dapat juga didefinisikan sebagai batuan gelas silikat yang mengandung sekitar 70% SiO₂, dan jika dipanaskan pada suhu tertentu bisa mengembang 4 hingga 20 kali volume semula. Ketika dipanaskan warnanya akan berubah menjadi abu-abu cerah atau putih. Karena pengaruh beban yang menyimpannya, lava yang tertahan mengalami proses pendinginan yang sangat cepat, proses ini disebut sebagai perlitisasi (Sari,dkk, 2011). Pada umumnya, perlit memiliki karakteristik yang berbeda-beda disetiap daerah penemuan perlit. Perbedaan tersebut disebabkan jumlah air yang terikat dan sejarah erupsinya. (Ali,2009).

C. Feldspar

Felspar merupakan mineral senyawa alumina-silikat sebagai salah satu komponen/mineral pembentuk batuan beku (granit pegmatite, granodiorit, dan gabro) yang kaya unsur alkali (K O, Na O dan CaO). Fungsi felspar dalam bodi keramik adalah sebagai bahan pelebur. Persyaratan mutu felspar untuk badan/bodi keramik menurut SNI.15-0926-89 adalah total kadar oksida alkali (K O+Na O) berkisar 6,0 -14 % (Nuryanto dan Edwin, 2012). Feldspar hingga saat ini merupakan grup mineral dengan jumlah paling besar di kerak bumi, membentuk sekitar 60 % batuan terrestrial. Kebanyakan feldspar yang tersedia berupa sodium feldspar, potassium feldspar dan feldspar campuran. Sebagian besar produk yang digunakan sehari-hari terbuat dari feldspar gelas untuk minum, gelas sebagai pengaman, fiberglass sebagai osilator, lantai keramik, bak mandi dan peralatan makan. Rumus kimia feldspar secara umum adalah XAl(Al,Si)Si₂O₈ dengan X adalah potassium, sodium, kalsium atau barium. Secara khusus rumus kimia feldspar dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Jenis-jenis Feldspar

Jenis Feldspar	Reaksi Kimia
Albite	Na(Si ₃ Al)O ₈
Anorthite	Ca(Si ₂ Al ₂)O ₈
Orthoclase	K(Si ₃ Al)O ₈
Celsian	Ba(Si ₂ Al ₂)O ₈

Kandungan dominan dari feldspar adalah SiO₂ = 71,82 %, Al₂O₃ = 18,08 %, K₂O = 6,43 %, Fe₂O₃ = 1,43 %, CaO = 1,90 %. Feldspar pada keramik merupakan bahan baku utama dan penting karena dapat berfungsi untuk mengurangi penyusutan pada saat proses pengeringan dan pembakaran. Umumnya feldspar yang baru diambil dari alam mempunyai kandungan besi oksida Fe₂O₃ yang merugikan bagi industri keramik. Hal ini dapat mempengaruhi warna dan kualitas

keramik. Batas maksimum kadar Fe₂O₃ pada feldspar sebagai bahan baku keramik adalah 0,5 %. Adapun persyaratan komposisi kimia feldspar untuk industri keramik berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI NO.1145-1984) adalah:

$K_2O + Na_2O = 6-15\%$, Fe_2O_3 maks = 0,5%, TiO_2 maks = 0,3% (Parno, 2008).

Feldspar, secara kimiawi dibagi menjadi empat kelompok mineral yaitu kalium feldspar (KAlSi₃O₈), natrium

feldspar ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), kalsium feldspar ($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$) dan barium feldspar ($\text{BaAlSi}_3\text{O}_8$), sedangkan secara mineralogy feldspar dikelompokkan menjadi plagioklas dan K-feldspar.). Keberadaan feldspar dalam kerak bumi cukup melimpah. Walaupun demikian untuk keperluan komersial dibutuhkan feldspar yang memiliki kandungan ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) > 10 %. Selain itu, material pengotor oksida besi, kuarsa, oksida titanium (Nurhakim, 1999).

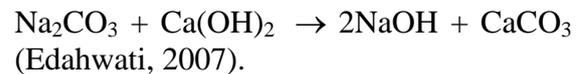
D. Basalt

Batu basalt adalah salah satu batuan beku bersifat basa yang terbentuk dari proses pembekuan magma di permukaan atau dekat permukaan bumi. Karena terbentuk pada permukaan bumi maka termasuk ke dalam batu ekstrusif (vulkanik). Basalt umumnya terbentuk dari proses pembekuan yang berlangsung cepat. Basalt juga dapat terbentuk dari pembekuan lelehan lava yang mengandung gas, namun gasnya telah menguap. Batu basalt umumnya bersifat massive dan keras, ia memiliki kristal – kristal kecil, umumnya berwarna gelap. Batu ini biasa dimanfaatkan sebagai bahan bangunan dasar jalan, bahan campuran beton (Anonim, 2015).

E. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) juga dikenal sebagai soda kaustik atau sodium hidroksida merupakan jenis basa logam kaustik. Natrium hidroksida terbentuk dari oksida basa natrium oksida yang dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran, dan larutan jenuh 50%. NaOH bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbon dioksida dari udara bebas. NaOH juga sangat larut dalam air dan akan melepaskan kalor ketika dilarutkan dalam air. Larutan NaOH meninggalkan noda kuning pada kain dan kertas (Prasetya, dkk,

2012). Pada prinsip stokhiometri memungkinkan untuk menghitung jumlah zat yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan kimia yang direaksikan pada suatu reaksi kimia. Reaksi kimia yang diteliti ini, adalah reaksi pembentukan NaOH pada soda ash dan *calcium hydroxide* sesuai reaksi sebagai berikut ;



F. Waterglass

Waterglass atau kaca alkali silikat berupa kristal putih yang dapat larut dalam air (*soluble glass*) menghasilkan larutan alkalin. Secara kimia, *waterglass* adalah sodium silikat. Terdapat banyak jenis sodium silikat, antara lain adalah sodium orthosilikat, sodium polisilikat, dan sodium pyrosilikat. *Waterglass* merupakan salah satu jenis gelas/kaca dari sejumlah jenis gelas. Selain *waterglass* terdapat kaca berupa silika lebur, kaca soda gamping (*soda lime glass*), kaca timbal (*lead glass*), kaca timbal silikat alkali, kaca borosilikat, dan kaca alumina silikat. *Waterglass* selalu stabil dalam larutan murni dan alkalin. Dalam larutan asam, ion silikat bereaksi dengan ion hidrogen untuk membentuk asam silikat, yang bila dipanaskan dan dibakar akan membentuk silika gel yang keras, bening seperti zat kaca yang dapat menyerap air dengan cepat (Fairus, dkk, 2009).

G. Metakaolin

Kaolinite (bukan kaolin) merupakan mineral tanah (*clay*), dengan komposisi kimia $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ yang merupakan mineral silikat lapisan dengan satu tetrahedral yang dihubungkan dengan alumina melalui atom oksigen. Jenis batuan yang kaya akan kaolinit dikenal sebagai *china clay*, *white clay*, atau kaolin. Kaolin akan mengalami transformasi serangkaian fasa di bawah kondisi perlakuan panas pada tekanan atmosfer. Pada temperatur 550-600°C terjadi

dehidroksilasi (atau dehidrasi) yang berlangsung endotermik, menghasilkan *disordered metakaolin* ($Al_2Si_2O_7$). Namun jika dipanaskan hingga mencapai temperature $900^{\circ}C$ akan menyebabkan hilangnya hidroksil terus menerus dan oksolasi secara bertahap pada metakaolin. Hal ini membuat metakaolin bukan sebagai campuran amorf silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) sederhana, namun lebih merupakan struktur amorf kompleks yang dapat mempertahankan *longer-range order* (namun bukan kristalin). Pemanasan hingga mencapai $925-950^{\circ}C$ akan mengubah metakaolin menjadi *aluminium-silicon spinel* ($Si_3Al_4O_{12}$) yang disebut juga sebagai tipe struktur *gamma-alumina*. Pada temperature $100-200^{\circ}C$, clay akan kehilangan sebagian besar kandungan airnya. Pada suhu $550-800^{\circ}C$ kaolin akan kehilangan air melalui dehidroksilasi dan disebut terkalsinasi. Proses terhidroksilasi kaolin menjadi metakaolin merupakan proses endotermik dikarenakan besar energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ion hidroksil yang berikatan secara kimia. Pada temperature ini, kaolin menjadi metakaolin yang memiliki struktur kristal *2-dimensional order*. Dehidroksilasi yang sempurna tanpa *over heating* diperlukan agar diperoleh material pozzolan (material suplemen semen). Proses ini akan menciptakan struktur amorf, sedangkan struktur amorf, sementara *over heating* akan menyebabkan sintering yang akan menghasilkan *mullite* (nonreaktif) dan *cristalobalite* kristalin (SiO_2). Metakaolin sebagai dasar geopolimer memiliki kelarutan yang baik dalam larutan rektan, menghasilkan control rasio Si/Al yang baik dan berwarna putih (Sidik, 2012).

H. Porositas, Absorpsi dan Berat Jenis

Porositas adalah ukuran dari ruang kosong di antara material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume, yang bernilai antara 0 dan 1, atau sebagai persentase antara 0-100%.

Istilah ini digunakan di berbagai kajian ilmu seperti geologi, geofisika, farmasi, teknik manufaktur, ilmu tanah, metalurgi, dan sebagainya. Porositas bergantung pada jenis bahan, ukuran bahan, distribusi pori, sementasi, riwayat diagenetik, dan komposisinya. Dalam aliran dua fase gas dan cairan, fraksi kekosongan didefinisikan sebagai fraksi dari volume aliran yang ditempati oleh gas. Porositas umumnya bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lainnya dalam perpipaan dan berfluktuasi terhadap waktu. Pada aliran non-homogen, porositas terkait dengan laju aliran volumetrik dari fase gas dan cairan, dan terkait dengan kecepatan relatif antara dua fase (disebut dengan *slip ratio*). Batuan terkonsolidasi seperti batu pasir, shale, granit, atau batu kapur umumnya memiliki dua sifat porositas jika dibandingkan dengan sedimen aluvial. (Anonim, 2013). Absorpsi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu absorpsi fisika yang disebabkan oleh gaya Van Der Waals (penyebab terjadinya kondensasi untuk membentuk cairan yang ada pada permukaan absorben) dan absorpsi kimia terjadi reaksi antara zat yang diserap oleh absorben, banyaknya zat yang terabsorpsi tergantung pada sifat khas zat tersebut. Besar kecilnya absorpsi dipengaruhi oleh macam absorben, macam zat yang terabsorpsi, konsentrasi absorben dan zat, luas permukaan, temperatur dan tekanan zat yang terabsorpsi. Absorpsi digunakan untuk menyatakan bahwa ada zat lain yang terserap pada zat itu, misalnya karbon aktif dapat menyerap molekul-molekul asam asetat dalam larutannya. Tiap partikel absorban dikelilingi oleh molekul yang diserap karena terjadi interaksi tarik-menarik (Prasetya, dkk, 2012).

Metode pengujian berat jenis (sesuai SNI 03-1969-1990) dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, dan berat jenis semu. Yaitu bertujuan untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering

permukaan jenis dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan. Yang dimaksud dengan :

1. Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C;
2. Berat jenis jenuh kering permukaan yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C;
3. Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C;

METODOLOGI

A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan dengan ukuran mesh 200 dan 100, kuas, cetakan, beaker glass, gelas ukur, spatula, timbangan digital, cawan, *furnace*, dan oven.

Bahan-bahan yang digunakan adalah perlit, basal, feldspar, metakaolin, *waterglass*, NaOH, air dan akuades.

B. Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah perlit, basal dan feldspar. Kemudian masing-masing bahan dilakukan pengayakan dengan ukuran lolos mesh 200 dan 100 sebagai uji kehalusan bahan. Setelah diperoleh hasil ayakan, maka dilakukan penimbangan dengan komposisi sebagai berikut

Tabel 2. Komposisi Material Perlit

Material	Persentase
Perlit	41,86 %
Metakaolin	38,37 %
Sodium Silikat	11,63 %
NaOH	1,16 %
Air	6,97 %
Total (gr)	215

Tabel 3. Komposisi Material Feldspar

Material	Persentase
Feldspar	41,86 %
Metakaolin	38,37 %
Sodium Silikat	11,63 %
NaOH	1,16 %
Air	6,97 %
Total (gr)	215

Tabel 4. Variasi Material Basalt

Komposisi	I	II	III
Basalt	41,86 %	48,84 %	55,81 %
Metakaolin	38,37 %	31,39 %	24,42 %
Sodium Silikat	11,63 %	11,63 %	11,63 %
NaOH	1,16 %	1,16 %	1,16 %
Air	6,97 %	6,97 %	6,97 %
Total (gr)	215	215	215

Tabel 5. Variasi NaOH

Komposisi	I	II	III	IV
Basalt	40,63 %	39,56 %	38,54 %	37,58 %
Metakaolin	37,25 %	36,26 %	35,33 %	34,45 %
Sodium Silikat	11,28 %	10,99 %	10,71 %	10,44 %
NaOH	4,06 %	6,6 %	8,99 %	11,27 %
Air	6,77 %	6,6 %	6,43 %	6,26 %
Total (gr)	221,5	227,5	233,5	239,5

2. Pembuatan Semen Geopolimer

Adapun prosedur pembuatan semen geopolimer ini adalah sesuai dengan tabel komposisi diatas, semua material yaitu perlit, basalt dan feldspar diayak dengan ayakan mesh 100 dan 200. Setelah itu menimbang masing-masing bahan sesuai komposisi di atas. Yang pertama yaitu, menimbang bahan perlit seberat 90 gr (41,86% dari 215 gr), metakaolin seberat 82,5 gr (38,37 % dari 215 gr), sodium silikat atau *waterglass* seberat 25 gr (11,63 % dari 215 gr), NaOH seberat 2,5 gr (1,16% dari 215 gr) dengan menggunakan timbangan digital. Kemudian menakar air 15 ml dengan menggunakan gelas ukur. Mencampur atau mengaduk secara merata perlit serta metakaolin yang sudah ditimbang. Melarutkan NaOH 2,5 gr dengan air 15 ml. Kemudian mengaduk-aduk hingga NaOH larut seluruhnya. Larutan NaOH yang sudah jadi langsung dicampurkan ke dalam

sodium silikat atau *waterglass*. Mengaduk-aduk hingga sodium silikat larut dalam larutan NaOH. Mencampurkan larutan yang sudah jadi (sodium silikat + NaOH + air) dengan campuran perlit dan metakaolin. Semua bahan dicampurkan dalam sebuah wadah untuk mendapatkan adonan yang homogen. Ukuran komposisi ini berlaku untuk masing-masing mesh yaitu mesh 100 dan 200. Mencetak adonan semen yang sudah jadi kedalam cetakan kubus ukuran 5x5x5. Setelah dicetak, memadatkan adonan yang sudah dicetak. Setelah itu, mendinginkan hingga adonan menjadi kering selama 24 jam. Kemudian membongkar cetakan dan semen yang sudah jadi didiamkan terlebih dahulu di udara terbuka agar lebih kering. Setelah itu melanjutkan pengeringan di dalam oven. Semen di masukkan ke dalam oven 60°C selama beberapa hari. Setelah beberapa hari, semen di keluarkan dari oven lalu panggang kembali di atas *furnace* agar

lebih kering. Prosedur ini dilakukan sama untuk bahan basal, bahan feldspar, variasi basal serta variasi NaOH. Hanya saja untuk variasi basal serta variasi NaOH, bahan basal yang digunakan hanya yang sudah lolos mesh 100. Setelah kering, semen siap melalui proses pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah uji susut bakar, uji porositas, uji absorpsi dan uji berat jenis curah kering.

3. Pengujian Susut Bakar Semen Geopolimer

Langkah-langkah pengujian susut bakar telah dilakukan pada prosedur diatas, yaitu :

1. Menimbang masing-masing sampel yaitu semen geopolimer dari material perlit, basal dan feldspar seberat 5 gr di dalam cawan porselen yang sudah diketahui beratnya.
2. Memasukkan cawan yang berisi masing-masing sampel ke dalam *furnace* dengan suhu 900°C selama 1 jam.
3. Mengeluarkan cawan berisi sampel dari *furnace* dan meletakkandi udara terbuka hingga dingin.
4. Setelah dingin, menimbang kembali cawan yang berisi sampel
5. Menghitung susut bakar dengan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ susut bakar} = \left(\frac{B-C}{B-A} \right) \times 100 \%$$

Dengan : A = berat cawan kosong (gr)

B = berat cawan berisi sampel (cawan + sampel) (gr)

C = berat cawan + sampel setelah dikeluarkan dari *furnace* (gr).

4. Pengujian Porositas, Absorpsi dan Berat Jenis

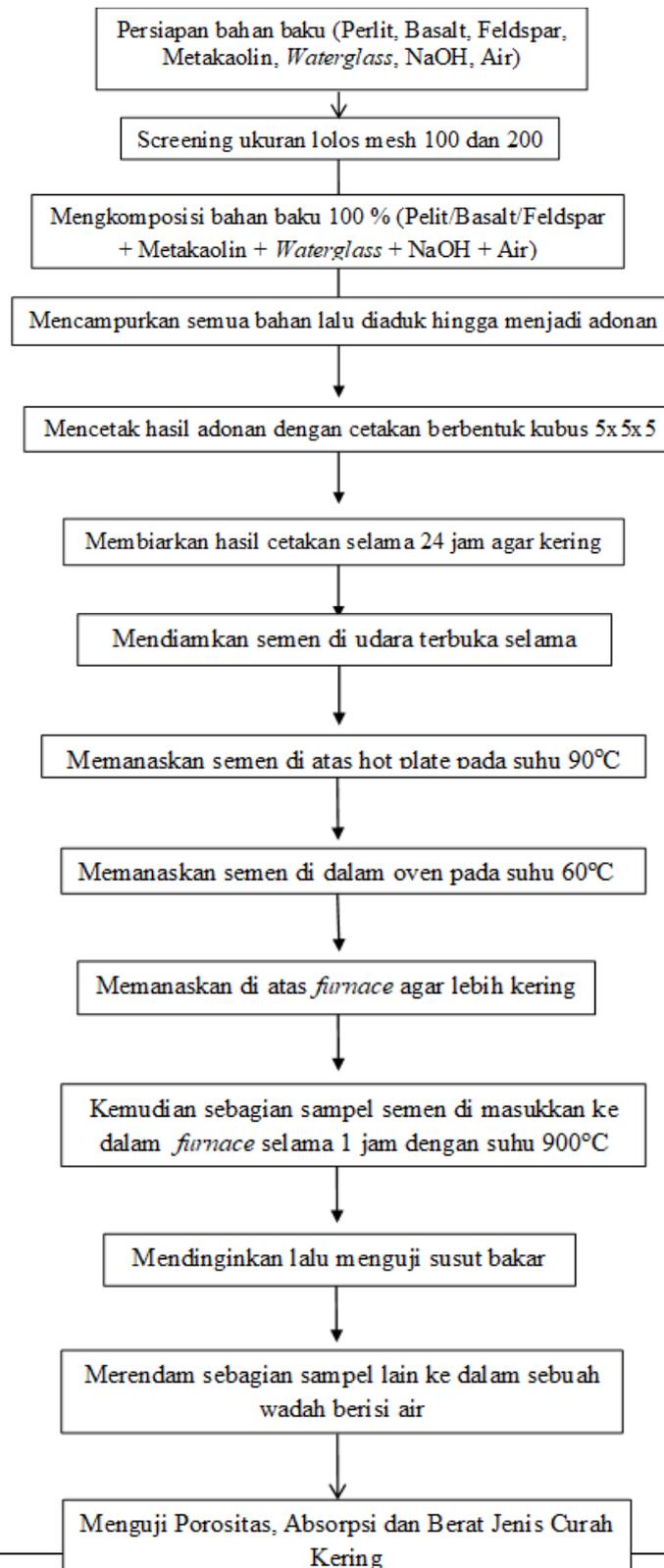
Langkah-langkah pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Menimbang masing-masing sampel (termasuk semen standar) dengan timbangan digital dan mencatat hasilnya.
2. Merendam seluruh sampel di dalam wadah seperti ember yang berisi air dan mendinginkan selama kurang lebih 1 minggu.
3. Setelah 1 minggu, sampel di timbang di dalam sebuah wadah yang di gantung tepat di bawah timbangan.

Mendinginkan hingga angka pada timbangan mulai

C. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses pembuatan semen geopolimer ditunjukkan seperti gambar diagram alir berikut ini :



Gambar 2. Diagram Alir Percobaan

ini adalah data yang diperoleh dari hasil uji susut bakar :

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Penelitian

Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan semen geopolimer dan berikut

Tabel 6. Hasil Uji Susut Bakar

Kode Sampel	Material	Kehalusan (mesh)	Susut Bakar (%)
1	Perlit	100	4,25
2	Perlit	200	4,36
3	Feldspar	100	2,68
4	Feldspar	200	2,11
5	Basalt	100	3,03
6	Basalt	200	3,15

Tabel 7 Hasil Uji Porositas

Kode Sampel	Material	w1 (gr)	w2 (gr)	w3 (gr)	Porositas (%)
1	BSL NaOH 9 gr	202,01	115,30	255,76	38,26
2	BSL NaOH 15 gr	213,69	119,58	254,78	30,39
3	BSL NaOH 21 gr	207,93	102,58	235,41	20,73
4	BSL NaOH 27 gr	237,98	138,30	264,57	21,06
5	BSL 105 gr	165,43	96,14	215,79	42,08
6	BSL 120 gr	134,12	78,01	173,79	41,42
7	Perlit 100	160,71	105,89	208,08	46,35
8	Perlit 200	132,02	69,47	190,10	48,16
9	Feldspar 100	87,92	39,18	118,45	38,51
10	Feldspar 200	134,78	48,87	178,25	33,59
11	BSL 100	104,84	51,67	138,04	38,44
12	BSL 200	162,16	69,53	211,94	34,95
13	Semen Standar	234,6	107,58	268,38	21,28

Tabel 8. Hasil Uji Absorpsi

Kode Sampel	Material	w1 (gr)	w2 (gr)	w3 (gr)	Absorpsi (%)
1	BSL NaOH 9 gr	202,01	115,30	255,76	26,60
2	BSL NaOH 15 gr	213,69	119,58	254,78	19,23
3	BSL NaOH 21 gr	207,93	102,58	235,41	12,21
4	BSL NaOH 27 gr	237,98	138,30	264,57	11,17
5	BSL 105 gr	165,43	96,14	215,79	30,44
6	BSL 120 gr	134,12	78,01	173,79	29,57
7	Perlit 100	160,71	105,89	208,08	29,47
8	Perlit 200	132,02	69,47	190,10	43,99
9	Feldspar 100	87,92	39,18	118,45	34,72
10	Feldspar 200	134,78	48,87	178,25	32,25
11	Basalt 100	104,84	51,67	138,04	31,66
12	Basalt 200	162,16	69,53	211,94	30,69
13	Semen Standar	234,16	107,58	268,38	14,61

Tabel 9. Hasil Uji Berat Jenis Curah Kering

Kode Sampel	Material	w1 (gr)	w2 (gr)	w3 (gr)	Berat Jenis (g/cm ³)
1	BSL NaOH 9 gr	202,01	115,30	255,76	1,44
2	BSL NaOH 15 gr	213,69	119,58	254,78	1,58
3	BSL NaOH 21 gr	207,93	102,58	235,41	1,56
4	BSL NaOH 27 gr	237,98	138,30	264,57	1,88
5	BSL 105 gr	165,43	96,14	215,79	1,38
6	BSL 120 gr	134,12	78,01	173,79	1,40
7	Perlit 100	160,71	105,89	208,08	1,57
8	Perlit 200	132,02	69,47	190,10	1,09
9	Feldspar	87,92	39,18	118,45	1,11

	100				
10	Feldspar	134,78	48,87	178,25	1,04
	200				
11	Basalt 100	104,84	51,67	138,04	1,21
12	Basalt 200	162,16	69,53	211,94	1,14
13	Semen Standar	234,16	107,58	268,38	1,45

Tabel 10. Variasi Molaritas NaOH

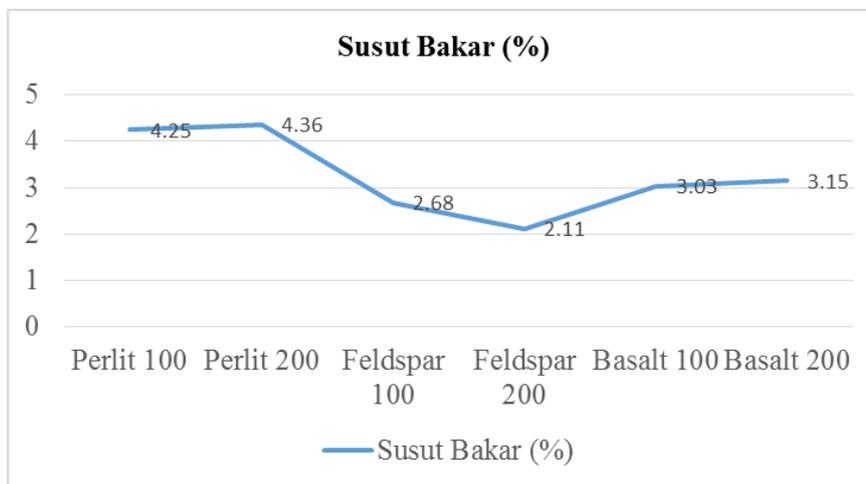
Komposisi	I	I	I	I
	I	I	II	V
Molaritas (M)	1	2	3	4
	5	5	5	5

B. Pembahasan

1. Hasil Uji Susut Bakar Semen Geopolimer

Susut bakar merupakan suatu besaran yang dapat diukur tentang menyusutnya (ukuran) benda karena pembakaran. Hal itu bukan hanya karena menguapnya air bebas, tetapi karena adanya perubahan sifat-sifat kimia dan fisika semen secara permanen. Semakin tinggi suhu dan waktu yang lama saat proses pembakaran, dapat

menghasilkan semen yang semakin kering sehingga semen tersebut memiliki nilai susut bakar kecil, karena tidak mengalami banyak penyusutan ukuran. Semen yang belum mengalami proses pembakaran memiliki ukuran pori-pori besar dan porositas yang besar. Sedangkan semen yang sudah mengalami proses pembakaran memiliki ukuran pori-pori kecil sehingga porositas yang dimiliki semen akan semakin kecil.



Gambar 3. Grafik Susut Bakar

Pada praktik pembuatan semen geopolimer ini, uji susut bakar semen terletak pada proses pembakaran dengan *furnace*. Proses pembakaran di dalam *furnace* terjadi selama 1 jam pada suhu 900°C. Selama proses pembakaran, dapat

diketahui hasil uji susut bakar seperti pada tabel 6. Dari tabel tersebut diketahui bahwa pada material perlit dengan mesh 100 diperoleh susut bakar sebesar 4,25 %, pada material perlit dengan mesh 200 diperoleh susut bakar sebesar 4,36 %, pada

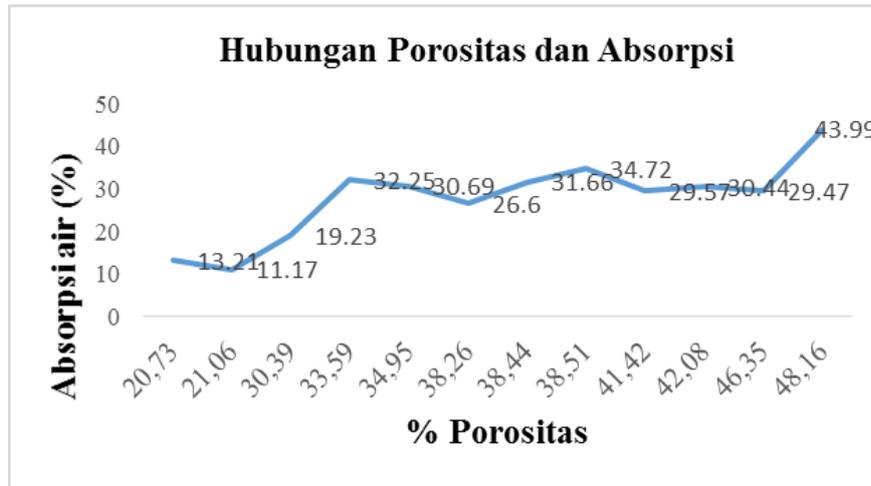
material feldspar dengan mesh 100 diperoleh susut bakar sebesar 2,68 %, pada material feldspar dengan mesh 200 diperoleh susut bakar sebesar 2,11 %, pada material basalt dengan mesh 100 diperoleh susut bakar sebesar 3,03 % dan pada material basalt dengan mesh 200 diperoleh susut bakar sebesar 3,15 %. Dengan demikian, terlihat pada Gambar 3 bahwa material feldspar memiliki nilai susut bakar yang paling kecil yaitu 2,11 % dibanding dengan material perlit dan basalt.

2. Hasil Uji Porositas, Absorpsi dan Berat Jenis

Porositas adalah ukuran dari ruang kosong di antara material, dan merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume, yang bernilai antara 0 dan 1, atau sebagai persentase antara 0-100% sedangkan absorpsi atau penyerapan adalah suatu fenomena fisik atau kimiawi atau suatu proses sewaktu atom, molekul, atau ion memasuki suatu fase limbak (bulk) lain yang bisa berupa gas, cairan, ataupun padatan. Pengujian porositas dan absorpsi air dilakukan untuk mengetahui banyaknya kadar air yang terkandung di dalam semua sampel semen geopolimer. Untuk menentukan persentase porositas dengan cara berat sampel yang telah di lap dikurangi berat mutlak dibagi dengan berat setelah dilap dikurangi dengan berat saat digantung kemudian dikali 100 %. Sedangkan untuk cara menentukan persentase absorpsi air dengan cara berat sampel setelah di lap dikurangi dengan berat mutlak sampel dibagi dengan berat mutlak sampel dikalikan dengan 100 %. Berat jenis adalah perbandingan relatif antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Untuk berat jenis curah kering dapat di tentukan dengan cara berat mutlak dibagi dengan berat setelah di lap dikurangi dengan berat saat digantung.

Hasil dari ketiga uji tersebut dapat dilihat pada Tabel 7, 8 dan 9. Dari tabel

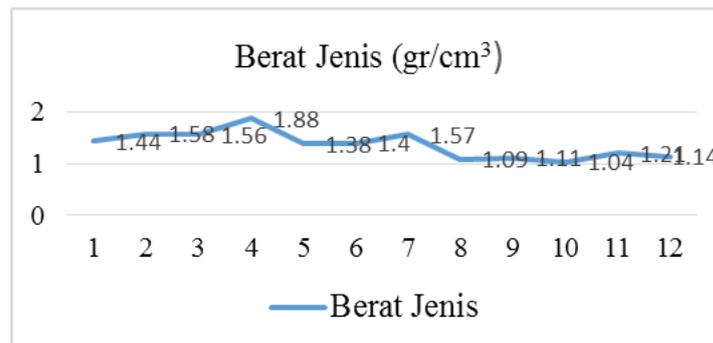
tersebut dapat diketahui bahwa pada sampel pertama memiliki persentase nilai porositas sebesar 38,26 %, persentase absorpsi sebesar 26,60 % dan berat jenis sebesar 1,44 gr/cm³. Sampel kedua memiliki persentase nilai porositas sebesar 30,39 %, persentase absorpsi sebesar 19,22 % dan berat jenis 1,58 gr/cm³. Sampel ketiga memiliki persentase nilai porositas sebesar 20,73 %, persentase absorpsi yaitu sebesar 13,22 % dan berat jenis 1,56 gr/cm³. Sampel keempat memiliki persentase nilai porositas sebesar 21,06 %, persentase absorpsi sebesar 11,17 % dan berat jenis 1,88 gr/cm³. Sampel kelima memiliki persentase nilai porositas sebesar 42,09 %, persentase absorpsi sebesar 30,44 % dan berat jenis 1,38 gr/cm³. Sampel keenam memiliki persentase nilai porositas sebesar 41,42 %, persentase absorpsi yaitu sebesar 29,58 % dan berat jenis 1,40 gr/cm³. Sampel ketujuh memiliki persentase nilai porositas sebesar 46,35 %, persentase absorpsi sebesar 29,47 % dan berat jenis 1,57 gr/cm³. Sampel kedelapan memiliki persentase nilai porositas sebesar 48,46 %, persentase absorpsi sebesar 43,99 % dan berat jenis 1,09 gr/cm³. Sampel kesembilan memiliki persentase nilai porositas sebesar 38,51 %, persentase absorpsi yaitu sebesar 34,72 % dan berat jenis 1,11 gr/cm³. Sampel kesepuluh memiliki persentase nilai porositas sebesar 33,59 %, persentase absorpsi sebesar 32,25 % dan berat jenis 1,04 gr/cm³. Sampel kesebelas memiliki persentase nilai porositas sebesar 38,44 %, persentase absorpsi sebesar 31,67 % dan berat jenis 1,21 gr/cm³. Sampel keduabelas memiliki persentase nilai porositas sebesar 34,95 %, persentase absorpsi yaitu sebesar 30,69 % dan berat jenis 1,14 gr/cm³. Serta sampel terakhir yaitu semen standar memiliki persentase nilai porositas sebesar 21,28 %, persentase absorpsi yaitu sebesar 14,61 % dan berat jenis 1,45 gr/cm³.



Gambar 4. Grafik Hubungan Porositas dan Absorpsi

Menurut teori, hubungan antara porositas dengan absorpsi yaitu semakin tinggi nilai porositas maka kemampuan mengabsorpsi air juga semakin tinggi. Namun pada praktik membuat semen geopolimer ini tidak sesuai dengan teori. Kenaikan nilai porositas tidak sebanding dengan kenaikan porositas air. Begitu pula sebaliknya, penurunan nilai porositas tidak sebanding dengan penurunan nilai absorpsi. Terlihat pada Gambar 4 di atas grafik tidak linier melainkan naik turun. Ketidaksesuaian hasil yang diperoleh

dengan teori disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya proses perendaman semen di dalam air. Karena terlalu lama terendam di dalam air, mungkin saja hal tersebut mempengaruhi perubahan pori pada sampel semen yang selanjutnya berhubungan dengan kemampuan daya serap semen terhadap air. Persentase nilai porositas terkecil terdapat pada material basalt dengan variasi NaOH 21 gr dan persentase nilai absorpsi air terkecil terdapat pada material basalt dengan variasi NaOH 27 gr.



Gambar 5. Grafik Berat Jenis

Grafik diatas merupakan grafik berat jenis 12 sampel. Semen standar memiliki berat jenis 1,45 gr/cm³ dan berdasarkan data yang diperoleh, material yang memiliki nilai berat jenis mendekati semen standar yaitu basalt dengan variasi NaOH

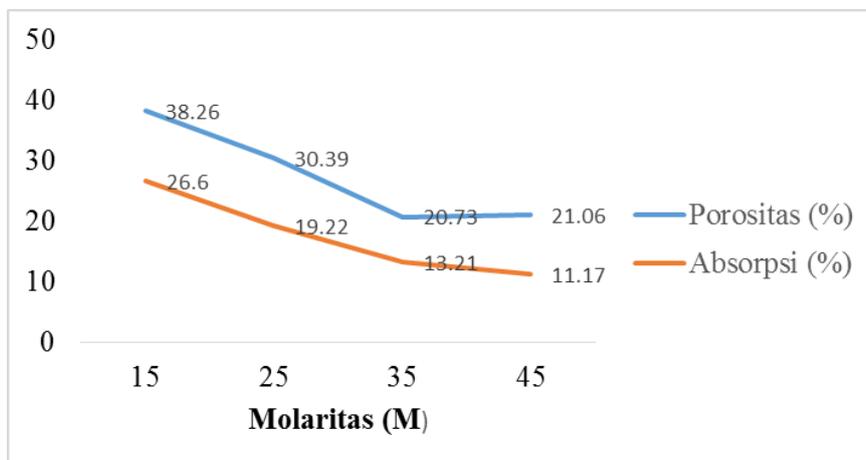
9 gr. Pada praktik ini dihasilkan persentase nilai porositas antara 20,73 % - 48,16 %, persentase nilai absorpsi antara 11,17 % - 43,99 %, berat jenis antara 1,04 – 1,88 gr/cm³. Sedangkan semen standar memiliki persentase nilai porositas sebesar

21,28 %, persentase absorpsi sebesar 14,61 % dan berat jenis $1,45 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini membuktikan bahwa sampel semen yang dihasilkan pada penelitian ini adalah semen berpori.

3. Hasil Uji Porositas, Absorpsi dan Berat Jenis

Molaritas (disingkat M) salah satu ukuran konsentrasi larutan. Molaritas suatu larutan menyatakan jumlah mol suatu zat per liter larutan. Untuk menentukan molaritas NaOH dengan cara berat NaOH (gr) dibagi dengan massa atom NaOH dikalikan dengan 1000 per mililiter. Menurut teori semakin besar kemolaran atau molaritas NaOH maka daya rekat semen akan semakin kuat. Hal ini terlihat pada tabel 7 dan 8. Untuk material basalt dengan NaOH 9 gr atau 15 M memiliki nilai porositas 38,26 % serta absorpsi sebesar 26,60 %. Untuk material basalt

dengan NaOH 15 gr atau 25 M memiliki persentase nilai porositas 30,39 % serta absorpsi sebesar 19,23 %. Untuk material basalt dengan NaOH dengan NaOH 21 gr atau 35 M memiliki persentase nilai porositas 20,73 % serta absorpsi 13,22 %. Sedangkan untuk material basalt dengan NaOH 27 gr atau 45 M memiliki persentase nilai porositas 21,06 % serta absorpsi sebesar 11,17 %. Sedangkan untuk material basalt dengan NaOH sesuai komposisi 2,15 gr dengan molaritas 4,16 M yaitu basalt 105 gr, basalt 120 gr, basalt mesh 100 dan basalt mesh 200 yang masing-masing memiliki persentase nilai porositas sebesar 42,08 %, 41,42 %, 38,44 % dan 34,95 %. Serta nilai absorpsi sebesar 30,44 %, 29,58 %, 31,66 %, dan 30,69 %. Terlihat bahwa pada material basalt dengan variasi NaOH memiliki persentase nilai porositas dan absorpsi yang lebih kecil dibanding dengan material basalt dengan NaOH sesuai komposisi.



Gambar 6. Hubungan Variasi Molaritas NaOH dengan Porositas dan Absorpsi

Berdasarkan gambar diatas untuk variasi NaOH 9 gr, 15 gr, dan 21 gr memiliki persentase nilai porositas yang semakin kecil. Namun untuk variasi NaOH 27 gr persentase nilai porositas naik 1 %. Hal ini mungkin disebabkan karena saat proses perendaman, material basalt dengan variasi NaOH 27 gr hancur sehingga menyebabkan nilai porositas sedikit

membesar. Namun untuk persentase nilai absorpsi semakin mengecil ketika molaritas NaOH semakin membesar. Hal ini sesuai dengan teori yaitu jika persentase nilai absorpsi yang semakin mengecil akan menyebabkan daya rekat semen semakin kuat.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang telah diperoleh berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan adalah:

1. Persentase susut bakar terkecil di peroleh pada material feldspar dengan mesh 200, lebih kecil disbanding dengan material perlit dan basalt.
2. Hasil uji absorpsi air dari seluruh sampel menunjukkan semen berpori memiliki range nilai 11,17 – 43,99 % sedangkan semen standar memiliki persentase nilai absorpsi sekitar 14,6 %.
3. Dari hasil penelitian tidak diperoleh grafik linier untuk hubungan porositas dengan absorpsi air, persentase kenaikan nilai porositas tidak sesuai dengan persentase nilai absorpsi.
4. Persentase nilai porositas terkecil terdapat pada material basalt dengan variasi NaOH 21 gr, persentase nilai absorpsi air terkecil terdapat pada material basalt dengan variasi NaOH 27 gr dan material yang memiliki nilai berat jenis mendekati semen standar yaitu basalt dengan variasi NaOH 9 gr.
5. Persentase nilai absorpsi semakin mengecil ketika molaritas NaOH semakin membesar sesuai dengan teori yang artinya jika persentase absorpsi semakin mengecil akan menyebabkan daya rekat semen semakin kuat.
6. Sedangkan persentase nilai porositas untuk variasi NaOH 9 gr, 15 gr, dan 21 gr semakin kecil namun untuk variasi NaOH 27 gr persentase nilai porositas naik 1 % sehingga tidak sesuai dengan teori

B. Saran

Dalam upaya meningkatkan dan mengembangkan penelitian tentang pembuatan semen geopolimer maka terdapat beberapa saran antara lain :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bahan material lain yang

dapat dimanfaatkan sebagai semen geopolimer.

2. Perlu pengkajian lebih detail mengenai mengenai bahan kimiawi untuk memperkuat semen geopolimer.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2013. http://civil-list.blogspot.co.id/2013/09/metode-pengujian-berat-jenis-dan_13.html. Diakses pada tanggal 24 Februari 1016 Pukul 09.00 WIB.
- Anonim. 2013. <https://id.wikipedia.org/wiki/Porositas>. Diakses pada tanggal 24 Februari 1016 Pukul 09.00 WIB.
- Anonim. 2015. <http://bapakpengertian.blogspot.co.id/2015/05/Pengertian-Proses-Pembentukan-Ciri-Batu-Basalt-Adalah.html>. Diakses pada tanggal 24 Februari 1016 Pukul 09.00 WIB.
- Arini, dkk. 2013. *Pasta Ringan Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Bakar Sidoarjo dan Fly Ash Perbandingan 3:1 Dengan Tambahan Aluminum Powder dan Serat Alam*. Jurnal Teknik Pomits. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November. Vol. 1. No. 1. Hal 1-5.
- Ali. J. C. 2009. *Pembuatan Panel Beton Ringan Berbasis Perlit dan efek Komposisinya Terhadap Karakteristiknya*. Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Bayuseno, dkk. 2010. *Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi*. ROTASI Jurnal Teknik Mesin. Vol. 12. No. 4. Hal 10–16.
- Darmawi dan M. Amin Indra Putra. 2009. *Perbedaan Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketangguhan Baja HQ 705 Bila Diquench dan Ditemper Pada Media Es, Air Dan Oli*. Jurnal Rekayasa Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya . Vol. 9. No. 1. Hal 1-7.
- Edahwati, Luluk. 2007. *Kinetika Reaksi Pembuatan NaOH Dari Soda Ash dan Ca(OH)₂*. Jurnal Penelitian Ilmu Teknik. Teknik Kimia FTI-UPN"Veteran" Jatim. Vol. 7. No. 2. Hal 55-63.
- Fairus, dkk. 2009. *Proses Pembuatan Waterglass Dari Pasir Silika Dengan Pelebur Natrium Hidroksida*. Jurnal Teknik Kimia Indonesia Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknonogi Nasional. Vol. 8 No. 2. Hal 56-62.
- Heltina, Desi dan Khairat. 2011. *Adsorpsi Logam Cu (II) Menggunakan Perlit Yang Teraktifasi Dengan Asam Clorida (HCl)*. Jurnal Teknik Kimia Universitas Riau. PROSIDING SNTK TOPI 2011 ISSN. 1907-0500. TMA08 – 32.
- Indiani, Eva dan Ngurah Ayu Ketut Umami. 2009. *Keramik Porselen Berbasis Feldspar Sebagai Bahan Isolator Listrik*. TELKOMNIKA Jurusan Fisika Universitas Diponegoro. ISSN 1693-6930. Vol 7. No. 2. Hal 83-92.
- Kusumastuti, E. 2012. *Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Geopolimer Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat*. Jurnal MIPA Universitas Negeri Semarang. ISSN 0215-9945. Hal 66-76.
- Nurhakim. 1999. *Bahan Galian Industri*. Fakultas Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Nuryanto dan Frank Edwin. 2012. *Optimasi Pemanfaatan Potensi Felspar Banjarnegara Jawa Tengah Untuk Industri Keramik*. Jurnal Riset Industri. Vol. VI. No. 1. Hal. 87-96.
- Parno. 2008. *Keramik: Karakteristik Pembuatan dan Penggunaannya*. Buku Ajar IKIP Malang. FMIPA Jurusan Fisika.
- Prasetya, dkk. *Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan Gas CO₂ Dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem Continue*. Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Hal 1-7.
- Pujianto, dkk. 2013. *Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur (155M)*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS).
- Samekto, Wuryati dan Candra Rahmadiyanto. 2001. *Teknologi Beton*. KANISIUS. Yogyakarta.

Sari, dkk. 2011. *Pembuatan Panel Beton Berbasis Perlit dan Aplikasinya sebagai Insulator Panas*. Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH. Volume 29. Hal 1-7.

Sidik, Umar. 2012. *Sintesis Metakaolin dan Abu Terbang sebagai Prekursor Geopolimer* (Skripsi). Universitas Indonesia.

SNI 1969:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*.

Sumajouw, Martin D.J dan Reky S. Windah. 2014. *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*. Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.6. ISSN: 2337-6732. Hal 277-282.