

**PEMBUATAN SEMEN GEOPOLIMER RAMAH LINGKUNGAN BERBAHAN BAKU
MINERAL BASAL GUNA MENUJU LAMPUNG SEJAHTERA**

***THE PRODUCING OF ENVIRONMENTAL FRIENDLY GEOPOLYMER CEMENT WITH
RAW MATERIAL OF BASALT MINERALS TO ACCOMPLISH WELFARE LAMPUNG***

Muhammad Amin dan Suharto
Balai Penelitian Mineral Lampung-LIPI
Jl.Ir.Sutami Km. 15. Tanjung Bintang, Lampung Selatan.
E-mail: muha047@lipi.go.id

Dikirim 5 Januari 2017 Direvisi 7 Februari 2017 Disetujui 17 Maret 2017

ABSTRAK

Semen merupakan bahan bangunan yang sangat penting bagi pembangunan dan kebutuhan akan semen semakin meningkat sejalan dengan peningkatan sarana dan prasarana manusia. Seiring dengan semakin meningkatnya permintaan semen maka semakin meningkat pula tingkat pencemaran lingkungan karena pada proses pembuatan semen akan melepas gas karbon dioksida (CO₂) yang lepas ke atmosfer. Semen geopolimer merupakan salah satu alternatif untuk mengganti semen yang tidak ramah lingkungan dengan cara melakukan sintesis bahan yang banyak mengandung silikat-aluminat dan itu ada pada mineral basal. Berdasarkan analisa XRF mineral basal merupakan salah satu material pozolan karena kandungan silika dan alumina sangat tinggi yakni 56,15% SiO₂, 17,37% Al₂O₃, 8,25% CaO dan 4,62% Fe₂O₃. Mineral basal disintesis menjadi geopolimer menggunakan larutan pengaktif NaOH yang bervariasi 2,5; 3,9; 6 dan 8% dengan penambahan natrium silikat sebanyak 9,75 % dan dipanas-keringkan (cured) pada suhu 60, 80, dan 100oC selama 5 jam. Karakterisasi semen geopolimer berbahan baku mineral basal menunjukkan kuat tekan yang optimum pada penambahan NaOH 3,9% sebesar 435 kg/cm² pada suhu 60oC, 589 kg/cm² pada suhu 80oC, dan 598 kg/cm² pada suhu 100oC. Nilai porositas semakin kecil seiring penambahan NaOH dan suhu curing dengan nilai optimum porositas pada penambahan NaOH 3,9% sebesar 9,82% pada suhu 60oC, 9,46% pada suhu 80oC, dan 7,30 % pada suhu 100oC dan pada penambahan NaOH 6 % porositas naik kembali menjadi sebesar 13,10% pada suhu 60oC, 12,08% pada suhu 80oC, dan 10,18 pada suhu 100oC. Dari mutu nilai kuat tekan semen geopolimer berbahan baku mineral basal masih tinggi dibandingkan dengan semen konvensional standar yaitu sebesar 324 kg/cm² dan porositas sebesar 21,28%. Mineral basal dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen geopolimer karena kualitas semen lebih baik dibandingkan semen konvensional dan layak untuk dikembangkan sebagai semen ramah lingkungan.

Kata kunci: semen, geopolimer, basal, silikat, aluminat

ABSTRACT

Cement was an important building material for a development and the need for cement sharply increased along with the development of people structures and infrastructures. Together with the increase of demands on cement went increase the level of environment pollution due to the process of cement industries because the process released carbon dioxide (CO₂) gas to the atmosphere. Geopolymer cement was an alternative to replace the unenvironmental-friendly cement with

synthetizing materials riched in silicate-aluminate in form of basalt minerals. Based on XRF analysis, basalt minerals were a pozolan meterial due to their high silica and alumina contents which were 56.15 % SiO₂, 17.37 % Al₂O₃, 8.25 % CaO and 4.62 % Fe₂O₃. Basal minerals were synthetized to geopolymer in the activator NaOH solution varied to 2.5, 3.9, 6 and 8 % with the addition of 9.75 % sodium silicate thence were cured at the temperatures of 60, 80, dan 100 oC for 5 hours. The charactization of basalt-minerals geopolymer cement indicated the optimum pressure-strength on the addition of 3.9 % NaOH to 435 kg/cm²at the temperature of 60 oC, 589 kg/cm²at 80oC, dan 598 kg/cm²at 100oC. Porosity value decreased with the addition oh NaOH and curing temperature with the optimum porosity value with the addition of 3.9 % NaOH to achieve 9.82 % at 60 oC, 9.46 % at 80 oC, and 7.30 % at 100 oC. With addition of 6 %NaOH, the porosity increased back to 13.10 % at 60 oC, 12.08 % at 80 oC, and 10.18 at 100 oC. On the quality of pressure-strength, basalt-minerals geopolymer cement held high as compared with the standard of conventional cementwhich were 324 kg/cm²and the porosity of 21.28 %. Basalt minerals could be utilized as raw material to produce geopolymer cement due to the better quality of the cement than the conventional cement and feasible to develop as environmental-friendly cement.

Keywords: cement, geopolymer, basalt, silicate, aluminate.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang banyak melakukan pembangunan fisik diseluruh sektor, dalam pembangunan dibutuhkan beberapa bahan bangunan, semen, agregat, dan pasir. Semen merupakan bahan baku yang sangat dibutuhkan dalam pembangunan karena berfungsi sebagai perekat yang mampu mengikat bahan-bahan lain untuk menjadi kompak dan kuat. Dalam proses pembuatan semen terdapat dua teknologi yaitu, teknologi basah (*wet proses*) yaitu proses pembuatan semen dengan penambahan air pada proses penggilingan dan pencampuran, dan teknologi kedua adalah proses kering (*dry proses*) yaitu proses pembuatan semen yang pada proses penggilingan dan pencampuran tanpa penambahan air. Selanjutnya bahan baku dilakukan proses pembakaran pada tungku rotari kiln pada suhu 1400oC [1].

Pada proses pembakaran ditungku rotary kilnbahan bakar yang digunakan adalah batubara dan akan menghasilkan gas buang terutama gas sulfida dan gas CO₂, begitu juga saat pembakaran bahan baku ditungku rotary kiln batu kapur akan melepaskan gas CO₂ berdasarkan reaksi $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ gas

yang hampir 50 % dilepaskan ke udara[2] untuk memproduksi semen sebanyak 1 ton gas rumah kaca (CO₂) yang dihasilkan dan terbuang juga sebesar 1 ton, gas ini dilepaskan ke atmosfer kita dengan bebas dan kemudian merusak lingkungan hidup kita diantaranya menyebabkan pemanasan global [3]

Untuk mengurangi emisi gas CO₂ akibat pembuatan semen portland dan mengatasi efek buruk yang merusak lingkungan serta dalam upaya memperbaiki problem durabilitas pada material beton yang menggunakan semen, sudah saatnya perlu dilakukan perubahan akan ketergantungan pada semen portland, maka diperlukan material lainnya sebagai pengganti. Semen geopolymer adalah salah satu semen hasil temuan dan dipopulerkan oleh Prof. Josefh Davidovits, semen geopolymer merupakan sintesa dari bahan alam non organik lewat proses polimerisasi. Bahan baku utama yang diperlukan untuk pembuatan semen geopolymer adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃), salah satu bahan baku yang banyak mengandung unsur silika dan alumina adalah batu basalt yang komposisi kimianya SiO₂ = 40 – 55% dan Al₂O₃ = 12 – 17%[4]

Berdasarkan data yang berasal dari Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya

Mineral Kementerian ESDM pada tahun 2011 bahwa sumber daya mineral Non Logam batuan basalt di Indonesia berjumlah 5.571.251,56 ribu ton dan menurut sumber yang berasal dari Dinas Pertambangan dan Energi Lampung sejumlah cadangan batu basalt yang tersebar di daerah berjumlah 318.480.000 ton[5], jumlah cadangan yang begitu banyak selama ini hanya dipergunakan sebagai pondasi untuk pembangunan rumah seharusnya dengan mengoptimalkan mineral basalt maka nilai ekonominya akan bertambah, untuk alasan ini maka perlu dilakukan penelitian mengenai mineral basalt sebagai bahan baku utama pada pembuatan semen geopolimer agar mineral basalt mempunyai nilai tambah ekonomi lebih baik. Dengan hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan dampak yang positif bagi mahasiswa, peneliti dan masyarakat dalam berinovasi terutama pada mineral-mineral yang ada dan banyak terdapat disekeliling kita untuk menciptakan material pengganti yang ramah lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah penelitian dalam pembuatan semen geopolymer berbahan baku mineral basalt adalah bagaimana cara membuat semen geopolymer dengan menggunakan bahan baku mineral basalt dicampur silika cair (*water glass*) dan sodium hidroxide (NaOH) agar didapat komposisi yang optimum. Hasil-hasil tersebut diperoleh dari variabel-variabel yang mempengaruhi pada kekuatan mutu semen geopolimer, antara lain:

1. Persen penambahan NaOH, variabel ini akan digunakan untuk mengetahui makin besar % penambahan NaOH yang digunakan apakah makin tinggi nilai kuat tekan semen geopolymer
2. Suhu curing (pemanasan dan pengeringan), variabel ini untuk melihat pengaruh suhu pemanasan terhadap mutu semen geopolymer

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa mineral basalt dapat digunakan sebagai bahan baku utama pada pembuatan semen geopolymer dan untuk mempelajari variabel-variabel yang berpengaruh pada kekuatan mutu semen geopolymer dengan metode pencetakan bentuk kubus 5 x 5 x 5 cm dengan umur pengujian 7 hari. Variabel-variabel tersebut meliputi:

1. Persen penambahan NaOH terhadap berat basalt dan keseluruhan sebesar: 2,5 %, 3,9 %, 6 % dan 8 %
2. Suhu curing (pemanasan dan pengeringan) pada hasil cetakan semen geopolymer, dengan variasi suhu: 60oC, 80oC, dan 100oC

Kondisi optimum akan dilihat dari nilai Kuat Tekan dan % Absorpsi dari semen geopolymer

Ruang lingkup penelitian ini adalah: Variabel yang dibuat tetap adalah: % Sodium Silikat, % air dan waktu pemanasan 5 jam.

1.4. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis dan untuk masyarakat yang membaca hasil penelitian ini, beberapa manfaat yang dapat diambil antara lain:

1. Mineral basalt dapat ditingkatkan nilai ekonominya, yang selama ini oleh masyarakat hanya untuk batu pondasi maka nanti dapat dijual sebagai bahan baku semen geopolymer sehingga harga mineral basalt naik dan pendapatan masyarakat akan meningkat
2. Dapat tumbuhnya lapangan pekerjaan seiring dengan didirikannya industri semen geopolymer
3. Dapat menambah PAD daerah Provinsi Lampung dengan berdirinya pabrik-pabrik industri semen geopolymer
4. Untuk menumbuhkan inovasi-inovasi di daerah Provinsi Lampung guna meningkatkan daya saing terhadap Provinsi lain demi masa depan Lampung.

Sasaran Penelitian

Output dari penelitian ini adalah:

1. Contoh produk dari semen geopolimer
2. Terkuasainya cara pembuatan semen geopolimer berbahan baku mineral basalt
3. Karya Tulis Ilmiah yang dipublikasikan
4. Paten sederhana mengenai bahan baku semen geopolimer

Dampak dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memperlancar pembangunan daerah Lampung dalam hal ketersediaan semen alternatif selain semen pozolan atau semen portland
2. Dapat mengurangi biaya produksi dalam pembuatan semen
3. Dapat mengurangi dampak rumah kaca dan lingkungan yang bersih dikarenakan pembuatan semen geopolimer tidak memerlukan proses pembakaran yang menghasilkan gas CO₂ seperti pada pembuatan semen konvensional.

Penerapan Teknologi dari penelitian ini adalah:

Penerapan teknologi dari hasil penelitian ini adalah dapat diaplikasikan pada industri properti, pembangunan jalan raya yang padat kendaraan, pembangunan gedung bertingkat dan pembangunan jembatan yang kesemuanya membutuhkan semen cepat kering sehingga proses pembuatan dan pembangunan berjalan cepat dan lancar serta aman.

Hipotesis

Dengan menggunakan material baru berupa mineral basalt sebagai bahan baku semen geopolimer maka mutu kuat tekan akan menjadi naik dibandingkan dengan semen konvensional lainnya.

II. LANDASAN TEORI

Semen portland campur adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak (*clinker*), semen portland dan gipsium dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik itu antara lain terak tanur tinggi, pozolan, senyawa silika, batu kapur

dengan kadar anorganik 6 – 35 % dari masa semen komposit yang kesemuanya digiling dan dipanaskan[6]

Geopolimer pertama kali ditemukan oleh Prof Davidovits tahun 1970, dengan objek penelitian struktur bangunan piramid, piramid terbuat dengan metode re-aglomerasi batuan atau dengan kata lain semen tersebut dibuat dengan mencampurkan metakaolin dengan larutan alkali, misalnya KOH, NaOH material baru tersebut dinamakan geopolimer[7]

Pembuatan semen geopolimer dengan menggunakan bahan abu terbang (*fly ash*) yang kaya silika dan alumina[8] dan dapat bereaksi dengan cairan alkali dan dilakukan pembuatan dengan dicetak bentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm dengan variasi curing time 4,8,12 dan 24 jam, berdasarkan penelitian bahwa semakin lama curing time maka semakin besar kuat tekan dengan optimum waktu 24 jam dengan nilai 27,462 MPa[9]

Pemakaian semen sebagai pengikat pada bahan beton menimbulkan beberapa permasalahan seperti lamanya waktu pengeringan dan pengerasan dan beton yang dihasilkan relatif berat. Bahan-bahan polimer seperti epoksi, resin dan water glass merupakan salah satu solusi dan harapan karena akan memberikan efek waktu pengerasan yang lebih cepat dibandingkan dengan semen konvensional dan mampu memberikan sifat mekanik (kuat tekan) yang baik. Berdasarkan hasil pengamatan XRD bahwa mineral yang terkandung dalam semen geopolimer adalah silika sebanyak 32 %[10]

Kebutuhan akan semen cepat (*rapid setting cement*) yaitu semen cepat keras dan dapat mencapai kekuatan tinggi dalam waktu relatif singkat sudah cukup mendesak terutama untuk konstruksi jembatan, refarasi landasan pacu pesawat, jalan raya yang sibuk. Semen geopolimer merupakan solusi dengan mencampur abu terbang dengan larutan natrium silikat dan larutan dengan persentase masing-masing abu terbang 57-67 % dan natrium silikat 43-33% dengan perbandingan

NaOH dengan air masing-masing NaOH 27%, silikat 8-10 % dan air 63%. Komposisi ini menghasilkan kuat tekan sebesar 4-46 MPa dengan suhu curing 28-150°C dengan waktu 4-24 jam[11]

Kuat tekan geopolimer sangat tergantung pada sifat material pozolan dan larutan aktivator yang digunakan pada campuran pasta semen, lumpur sidarjo, trass dan fly ash sebagai bahan baku utama dengan dicampur larutan sodium silikat dengan

NaOH konsentrasi 8 – 14 Molaritas akan menghasilkan nilai kuat tekan 28,3 MPa dengan nilai porositas yang rendah 8 %[12] Semen portland dibuat dengan mengkalsinasi batu kapur dengan tanah liat pada suhu tinggi menghasilkan klinker sedangkan semen geopolimer terbuat dari fusi material silika dan alumina, perbandingan komposisi kimia terlihat dalam tabel 1. dibawah ini[13]

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Kimia Antara Semen Portland dengan Semen Geopolimer

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	-
MgO	0,5 – 4	3
SO ₃	2,0-3,5	-

Semen benar-benar digantikan oleh bahan pozolan seperti *fly ash* dan diaktifkan oleh larutan alkali. Dengan komposisi larutan *natrium silikat* Na₂O 16,45 %, SiO₂ 34,35 % dan H₂O 49,20 % dengan larutan NaOH konsentrasi 2,91, 5,6, 8,10, 11,01, 13,11 dan 15,08 M dengan suhu *curing* 40, 60,90 dan 120°C waktu pemanasan 24 jam dengan pengujian kuat tekan umur 3 hari. Hasil yang terbaik adalah larutan NaOH 13 M, suhu curing 90°C dengan waktu pemanasan 8 jam akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi[14]

Pemanfaatan residu bauksit sebagai bahan pembuatan bata bangunan berbasis material geopolimer dengan mencampurkan bahan baku *red mud* 35 %, *fly ash* 25 % *tailing* pencucian bauksit 30-40 % dan kapur 0-10 %, campuran ditambahkan larutan NaOH 1 % dan sodium silikat 0-8 % kemudian dicetak pres. *Dicuring* suhu 80°C didiamkan suhu ruangan selama 7,14,21 dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan sodium silikat 0-8 % nilai kuat tekan mencapai 53,5 – 238,9 kg/cm² dan dan daya

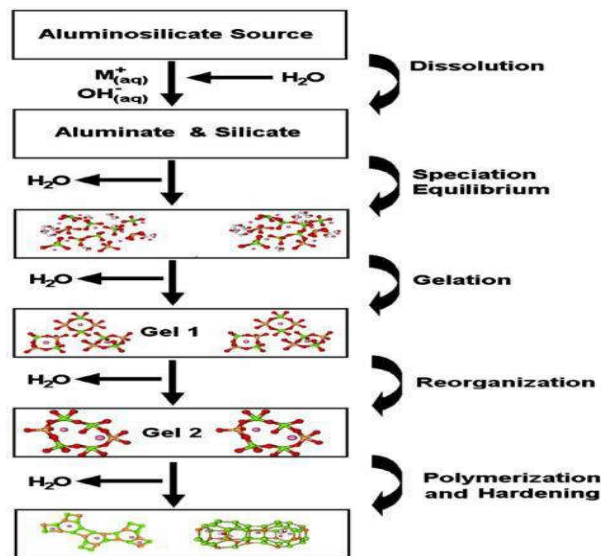
serap air 10,69 – 11,85 % dengan berat jenis semu 1,93 – 2,07 gram/cm³[15]

Penggunaan abu batu basalt sebagai mortar dengan dibuat bentuk kubus ukuran 5 x 5 x 5 cm, diuji kuat tekan, kuat tarik. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan mortar sebesar 597 kg/cm² pada rasio air/semen 0,29, uji kuat tarik sebesar 129 kg/cm² dan kuat tekannya sebesar 650 kg/cm²[15]. *Fly ash* sebagai bahan baku pembuatan semen geopolimer dengan dicampur *natrium silikat* dan 8 M *sodium hidroksida*, sampel dipanaskan suhu 80°C selama 3, 6, 15, dan 24 jam. Test kuat tekan dilakukan umur 7 hari dan 28 hari. Kuat tekan yang baik ditunukan pada umur 28 hari sebesar 40,35 MPa[16]. Abu vulkanik gunung berapi dapat digunakan sebagai bahan baku geopolimer dengan larutan pengaktif NaOH 66,67% dan pengikat sodium silikat, *dicuring* suhu 70°C selama 3 hari, kuat tekan optimum menunjukkan angka 61,16 MPa[16]. Komposisi bahan baku: abu vulkanik=233gr,

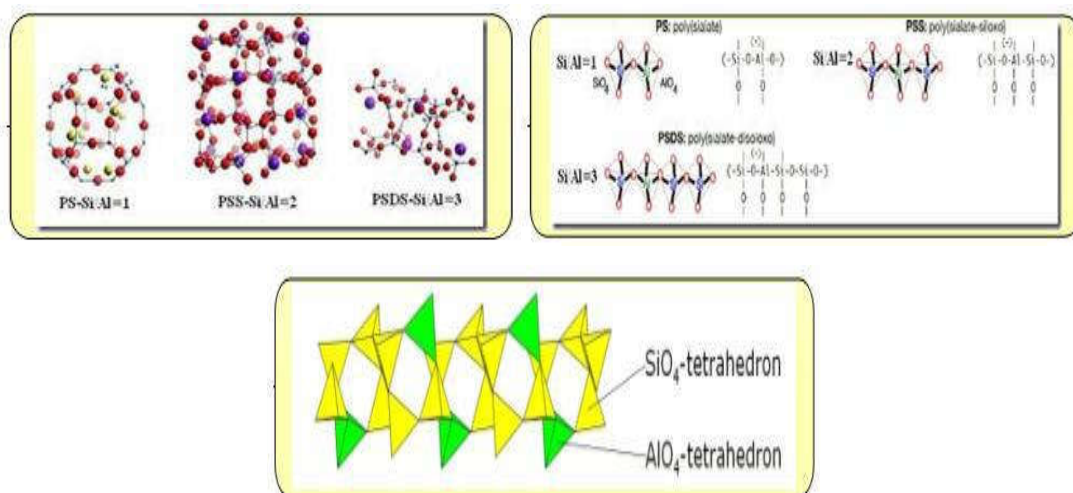
NaOH=13,3gr, sodium silikat= 33,3gr, dan

air=61,6

gr[12].



Sumber: Peter Duxon's conceptual model for geopolymerization, J Mater Sci, 2007,42:2819



Sumber: Joseph Davidovits' molecular models[17]

Gambar 1. Ikatan Kimia Antara Partikel Silika dan Alumina

Karakteristik sifat fisik Alumino-Silika sebagai bahan geopolimer berasal dari bahan campuran antara tailing tambang, *coal fly ash*, *slag blast furnace* dengan aktivator alkali berupa *sodium hidroksida* dan *sodium silikat* menghasilkan kuat tekan sebesar 142,2 MPa[18] material kaya akan silika dan alumina yang berasal dari metakaolin dengan penambahan na.silikat dan na.hidroksida dibentuk dan dikeringkan suhu 75°C selama

24 jam, diuji umur 7 hari didapat kuat tekan sebesar 64 MPa[19]

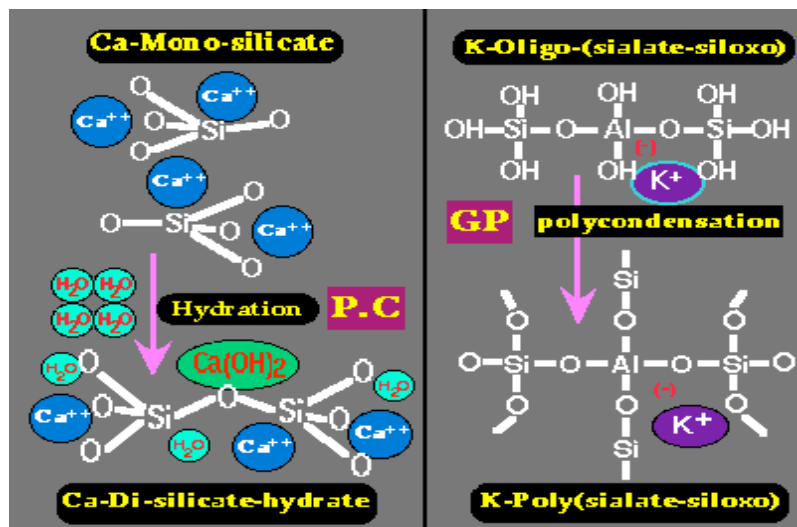
Bahan geomaterial *montmorillonit*, genteng sokha, *fly ash*, *clay*, dan nano silika dicampur resin, hardner lalu dicetak dengan tekanan dan dipanaskan lalu diuji SEM, XRF[20] Perbedaan antara struktur kimia semen portland yang banyak mengandung Calcium dengan semen geopolimer yang banyak mengandung silika dan alumina dapat dilihat

pada gambar 2. Kategori semen geopolimer terbagi menjadi 4 macam yaitu:

1. Semen geopolimer berbasis slag blast furnace
2. Semen geopolimer berbasis mineral batuan dari vulkanik letusan gunung berapi

3. Semen geopolimer berbasis abu terbang batubara (*fly ash*)

Semen geopolimer berbasis mineral banyak mengandung besi oksida (Fe_2O_3)[21]



Gambar 2. Perbedaan Ikatan Struktur Kimia Antara Semen Portland dengan Semen Geopolimer

Natrium silikat atau sodium silikat atau water glass yaitu garam yang larut dalam air dengan komposisi sodium meta silikat (Na_2SiO_3 atau $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), bentuk lain dari silikat adalah sesquisilikat ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_3$). Natrium silikat biasanya digunakan sebagai bahan deterjen, mempunyai sifat pengemulsi dan dapat menambah kekuatan serta memiliki sifat adhesif yang baik. Bentuk padat dari natrium silikat terlihat seperti gelas dan larut dalam air panas, meleleh pada temperatur 1018°C . Bahan natrium silikat ini diperoleh dengan melelehkan pasir, batubara dan soda. Campuran dilarutkan dalam air dan dididihkan dalam waktu lama [22]. Batuan basalt disebut juga batuan beku, dengan komposisi mineral, feldspat, pyroxene, olivine dan magnetite, bersifat keras, bertekstur mineral gelas vulkanik dan warna hitam abu-abu, kegunaan sebagai bahan baku industri poles, bahan pondasi dan sebagai agregat pada beton. [23].

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi literatur dan metode eksperimen. Metode literatur digunakan untuk melihat referensi yang berkaitan dengan penelitian ini sedangkan metode eksperimen dilakukan dengan cara membuat semen geopolimer secara langsung dengan mencampurkan bahan baku utama berupa mineral basalt yang dihaluskan dengan ditambah sodium silikat yang berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi dan sodium hidroksida berfungsi sebagai pereaksi unsur-unsur Al dan Si yang terkandung di dalam mineral basalt sehingga akan menghasilkan ikatan polimer yang kuat, komposisi bahan baku yang direncanakan sebanyak 4 komposisi dengan variasi penambahan sodium hidroksida yang selanjutnya dicetak dalam bentuk kubus ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ sebagai spesimen contoh uji. Pengujian meliputi kuat tekan, uji porositas, daya serap, dan berat jenis lalu dibandingkan dengan adukan standar semen + pasir sehingga dapat

dilihat kekuatan mutu yang lebih baik antara semen konvensional dengan semen geopolimer.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan Juni 2015 s/d Februari 2016 bertempat di Laboratorium Balai Penelitian Teknologi Mineral – LIPI Tanjung Bintang Lampung Selatan.

Bahan yang digunakan: mineral basalt, sodium silikat, sodium hidroxide dan air

Alat yang digunakan: cetakan terbuat dari besi dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm, pengaduk mixer, timbangan dan sendok semen, dan oven pengering.

Sumber data: data yang diperoleh dalam penelitian ini berasal dari data primer yang bersumber langsung dari hasil percobaan dalam penelitian lapangan berupa uji fisik dari produk semen geopolimer dan hasil uji komposisi kimia bahan baku metode XRF serta karakteristik SEM dan XRD produk semen geopolimer.

Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data dan diolah maka diamati saat proses pembuatan dan pengujian yaitu

1. Uji Kuat Tekan, berupa test strenght pada semen geopolimer dengan prinsip menekan semen geopolimer pada luas permukaan (cm²) tertentu dengan beban tertentu (kg).

Rumus Kuat Tekan kg/cm²: P/A . P= beban maksimum A= luas permukaan semen

2. Uji Porositas, berupa uji poros dari semen geopolimer dengan prinsip perendaman dalam air dengan waktu perendaman 24 jam.

Rumus Porositas (%) : $\frac{W3 - W1}{W3 - W2} \times 100 \%$
W1= berat kering W2= berat dalam air

W3 = berat setelah menyerap air

4. Uji Daya Serap, berupa uji poros dari semen geopolimer dengan prinsip perendaman dalam air dengan waktu perendaman 24 jam.

Rumus Daya Serap (%) : $\frac{W3 - W1}{W1} \times 100 \%$

4. Uji Susut Bakar, berupa persen berat kehilangan benda uji sebelum dibakar dibandingkan dengan setelah dibakar pada suhu 1000oC

UjiSusut Bakar (%) : $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100 \%$
W1 = Berat Sebelum dibakar

W1

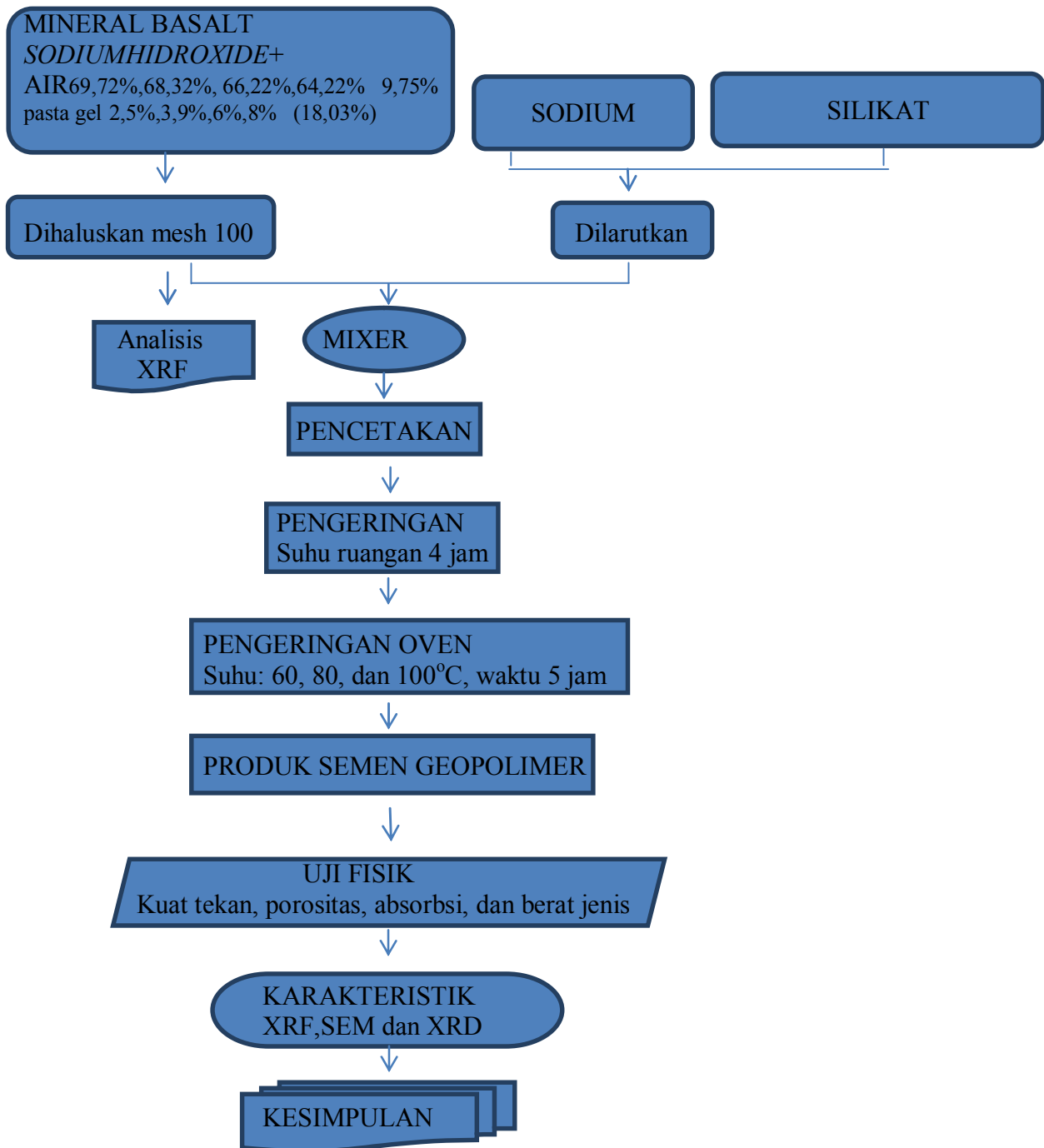
W2 = Berat setelah dibakar

5. Uji Berat Jenis, berupa perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama

Rumus Berat Jenis (gr/cm³) = m/v

m = massa benda v = volume air

Rancangan penelitian semen geopolimer dapat dilihat pada gambar flow chart dibawah ini:



Gambar 3. Flow Chart Pembuatan Semen Ramah Lingkungan Geopolimer

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

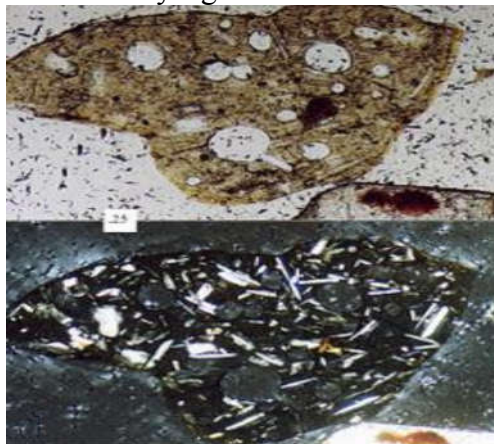
Hasil Karakteristik dan Pengujian



Gambar 4. Batuan Mineral Basalt

Gambar 4. Memperlihatkan mineral basalt yang berasal dari batuan beku letusan gunung berapi dan struktur batuan yang

berpori akibat dari pelepasan gas belerang dan oksigen yang ada.



Gambar 5. Hasil Karakteristik SEM Mineral Basalt

Pada gambar 5 dari hasil karakteristik uji SEM terlihat bahwa struktur mikro dari mineral basalt tampak berbentuk bulat-bulat yang menandakan banyaknya rongga yang terkandung didalam batuan basalt dengan morfologi yang berkembang akan mengarah melebar dan akan membesar (gambar bagian atas), sedangkan gambar bagian bawah memperlihatkan bahwa batuan mineral basalt ketika mengalami suatu pemanasan maka akan mengalami perubahan struktur mikro menjadi berbentuk jarum-jarum kecil yang menandakan bahwa unsur-unsur silika yang terkandung dalam mineral basalt mengalami pelelehan dan mempersempit pori-pori menjadi lebih kecil yang disebabkan unsur

belerang dan gas lain berupa oksigen mengalami penguapan sehingga akan memperkaya mineral silika dan alumina, dengan kaya akan silika dan alumina maka mineral basalt sangat baik untuk digunakan sebagai bahan baku semen geopolimer yang membuat ikatan menjadi lebih kuat.

Komposisi kimia batu mineral basalt

Pengujian komposisi kimia batu mineral basalt yang berasal dari Kabupaten Lampung Timur Provinsi Lampung dilakukan dengan metode XRF sesuai prosedur yang hasilnya disajikan pada tabel 2. Berikut

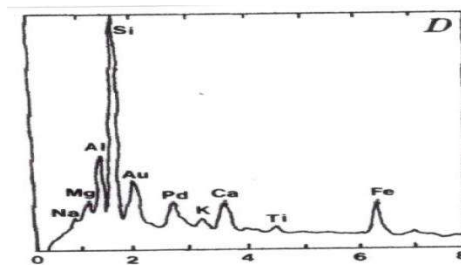
Tabel 2. Komposisi Kimia Mineral Basalt

NO.	SENYAWA OKSIDA	% HASIL ANALISA
1.	SiO ₂	56,15
2.	Al ₂ O ₃	17,37
3.	Fe ₂ O ₃	4,62
4.	CaO	8,25
5.	MgO	6,90
6.	K ₂ O	3,28
7.	TiO ₂	0,99
8.	MnO ₂	0,46

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa mineral basalt memiliki kandungan senyawa kimia yang didominasi oleh oksida silika dan alumina yaitu sebesar SiO₂ = 56,15%, Al₂O₃ = 17,37%, oleh karena itu mineral basalt merupakan bahan baku potensial untuk sintesis material geopolimer. Pada prinsipnya senyawa silika dan alumina merupakan komponen yang sangat penting didalam reaksi geopolimer yang akan membentuk senyawa oksida *alumino-silicate oxide* dengan alkali polisialates didalam larutan alkali lain dan akan menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Reaksi yang terjadi sebagai berikut: Mn $[-(\text{Si-O}_2)_z\text{-Al-O}]_n \cdot w\text{H}_2\text{O}$,

karakteristik mineral basalt hasil XRF dapat dilihat pada gambar 6 dibawah.

Dimana M adalah unsur alkali, z adalah 1,2 atau 3 dan n adalah tingkat polimerisasi. Selanjutnya alumino-silicate yang terbentuk digolongkan pada 3 kelompok, yang tergantung pada ratio SiO₂/Al₂O₃ pada harga 1,2 atau 3 dan berdasarkan perhitungan mineral basalt mempunyai ratio SiO₂/Al₂O₃ pada harga 3,2 dan berada diluar harga diatas, sehingga pada pembuatannya perlu penambahan bahan additif untuk membuat alumina dan silica lebih reaktif sehingga akan lebih cepat dalam pembentukan geopolimer.



Gambar 6. Hasil Karakteristik XRD mineral Basalt

Dari hasil karakteristik XRD mineral terlihat bahwa mineral basalt didominasi unsur silikat dan alumina yang merupakan unsur utama pembentukan sintesis geopolimer

Proses Sintesis bahan-bahan geopolimer

Untuk melakukan pembentukan semen geopolimer maka perlu dilakukan

dekomposisi dari semua material yang akan digunakan sebagai bahan baku pembentukan geopolimer dengan cara mengatur bahan perkursor dan aktivator alkali dan seluruh material pembentukan semen geopolimer di tentukan dalam satuan persen seperti tersaji pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Komposisi Bahan Baku Percobaan Semen Geopolimer

BAHAN BAKU	% KOMPOSISI BAHAN BAKU			
	KOMPOSISI I	KOMPOSISI II	KOMPOSISI III	KOMPOSISI IV
Mineral Basalt	69,72	68,32	66,22	64,22
Sodium Hidroksida	2,5	3,9	6	8
Sodium Silikat	9,75	9,75	9,75	9,75
Air	18,03	18,03	18,03	18,03

Komposisi campuran material semen geopolimer diatas merupakan pengembangan dari rancangan penelitian ini sendiri dengan melihat hasil dari penelitian sebelumnya, yang diharapkan dapat memperoleh terutama nilai kuat tekan yang optimum pada material geopolimer berbahan baku utama basalt.

Hasil pengujian fisik benda uji semen geopolimer

Hasil pengujian dari semen geopolimer berdasarkan komposisi material yang digunakan dibuat dalam bentuk kubus dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm dan dilakukan pengeringan di oven dengan variasi suhu curing 60, 80, dan 100°C, selama 5 jam. Dilakukan uji fisik berupa uji kuat tekan, uji porositas, uji penyerapan air, uji susut bakar, dan uji berat jenis dengan hasil seperti yang tersaji pada tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Hasil Uji Fisik Semen Geopolimer dengan variasi NaOH dan Suhu Pemanasan

KODE CONTOH	HASIL PENGUJIAN SUHU 60°C			
	KUAT TEKAN (kg/cm ²)	POROSITAS (%)	PENYERAPAN (%)	BERAT JENIS (gr/cm ³)
Semen Standar	324	21,28	14.61	1.85
KOMPOSISI I	405	15.04	9.73	1.87
KOMPOSISI II	418	11.56	5.18	1,89
KOMPOSISI III	436	9.82	4.40	1,91
KOMPOSISI IV	425	13.10	8.62	1,86
KODE CONTOH	HASIL PENGUJIAN SUHU 80°C			
	KUAT TEKAN (kg/cm ²)	POROSITAS (%)	PENYERAPAN (%)	BERAT JENIS (gr/cm ³)
Semen Standar	324	21,28	14.61	1.85
KOMPOSISI I	562	13,36	8,06	1,87
KOMPOSISI II	577	10.98	4,54	1,89
KOMPOSISI III	589	9,46	3,28	1,90
KOMPOSISI IV	571	12,08	5,96	1,85

KODE CONTOH	HASIL PENGUJIAN SUHU 100°C			
	KUAT TEKAN (kg/cm ²)	POROSITAS (%)	PENYERAPAN (%)	BERAT JENIS (gr/cm ³)
Semen Standar	324	21,28	14.61	1.85
KOMPOSISI I	585	11,40	7,38	1,88
KOMPOSISI II	591	9,07	3,46	1,89
KOMPOSISI III	598	7,30	2,91	1,90
KOMPOSISI IV	576	10,18	4,84	1,86

Pembahasan Nilai Kuat Tekan

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat pada uji kuat tekan sesuai dengan penambahan NaOH dari 2,5, 3,9 dan 6% maka semakin banyak jumlah penambahan NaOH maka semakin tinggi juga nilai kuat tekan akan tetapi pada saat penambahan sebanyak 8 % kuat tekan akan mengalami penurunan. Begitu juga dengan suhu curing terlihat semakin tinggi suhu curing maka semakin tinggi juga nilai kuat tekan.

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa penambahan NaOH 2,5%,3% dan 3,9% semakin meningkatkan nilai kuat tekan pada suhu curing 60°C berturut-turut sebesar 405 kg/cm², 418kg/cm², dan 436 kg/cm² kemudian turun kembali pada penambahan 6% menjadi 425 kg/cm².

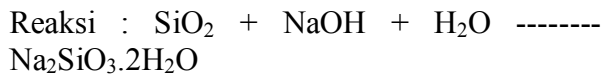
Begitu juga saat suhu curing dinaikan menjadi 80°C dan 100°C, berturut-turut nilai kuat tekan adalah 562, 577, dan 589 kg/cm² pada suhu 80°C dan berturut-turut nilai kuat tekan sebesar 585, 591, 598 kg/cm², kemudian turun kembali pada saat penambahan NaOH sebesar 6% menjadi 571 kg/cm² suhu 80°C dan 576 kg/cm² pada suhu 100°C.

Penurunan kuat tekan pada saat penambahan NaOH sebesar 6% pada semua suhu curing disebabkan NaOH berperan dalam pembentukan formasi zeolit, namun demikian peran dari sodium silikat dalam larutan aktivator juga ikut berperan dalam meningkatkan nilai kuat tekan karena akan mempercepat terjadinya reaksi pada proses

polimerisasi. Beton yang sedikit mengandung sodium silikat dalam larutan NaOH pekat tidak dapat mencapai nilai kuat tekan yang optimum. Larutan aktivator juga sangat berperan dalam proses workabilitas semen pada saat pencetakan menyebabkan semen tidak padat begitu juga dengan larutan yang terlalu pekat akibat konsentrasi NaOH atau jumlah Sodium silikat dapat menurunkan kuat tekan karena kesulitan pada saat pengadukan dan pencetakan. Nilai kuat tekan dari semua variasi suhu ataupun variasi penambahan NaOH nilai kuat tekan masih diatas dari nilai kuat tekan semen standar yaitu sebesar 324 kg/cm². Dengan demikian penambahan NaOH dengan konsentrasi optimum 3,9% akan meningkatkan nilai kuat tekan begitu juga suhu curing ikut berperan meningkatkan nilai kuat tekan karena semakin tinggi suhu curing maka butiran-butiran air yang terkandung di dalam semen geopolimer akan menguap dengan menguapnya air yang ada maka akan memperkecil porositas. Semen geopolimer yang diproduksi menggunakan geopolimer akan mengikat dengan kadar alkali tinggi NaOH akan membentuk gel *polysilicoxo-aluminate* akan mengeras akibat proses kristalisasi dan akan membuat kuat tekan pada semen akan meningkat.

Proses aktivasi bahan baku basalt berupa silika-alumina dengan menggunakan aktivator larutan alkali silikat, akan membentuk senyawa plastis dan keramik sehingga semen akan mengeras. Proses pengerasan semen geopolimer berbeda dengan pengerasan semen konvensional biasa, kalau proses pengerasan semen geopolimer merupakan reaksi *polikondensasi* yang bersifat

endotermis oleh karena itu laju pengerasan dapat ditingkatkan dengan melakukan proses curing bertingkat sedangkan proses pengeringan semen konvensional adalah proses bersifat hidrasi yang bersifat *eksotermis*.



Nilai Porositas

Pengujian nilai porositas bertujuan untuk mengetahui besarnya pori terbuka dan pori tertutup yang ada didalam matriks semen tersebut. Pori terbuka adalah pori yang dapat ditembus oleh air atau udara sedangkan pori tertutup adalah pori yang tidak dapat ditembus.

Semakin besar penambahan NaOH maka jumlah pori semakin sedikit, hal ini dipengaruhi oleh kekentalan yang dimiliki larutan NaOH dalam setiap campuran komposisi. Kepekatan larutan atau kekentalan larutan NaOH berhubungan dengan semakin berkurangnya atau semakin sedikitnya jumlah air yang digunakan pada larutan. Pada saat proses curing air yang ada pada semen geopolimer akan menguap sehingga pori yang tadinya terisi oleh air akan menjadi kosong dan semakin tinggi suhu curing maka akan menambah kering semen geopolimer dan akan menjadi suatu ikatan yang rapat dan akan menutup pori kosong tadi.

Pada tabel 4 diatas terlihat bahwa semen geopolimer yang menggunakan NaOH sebesar 3,9 % pada titik optimum lebih sedikit dibandingkan larutan NaOH 2,5% dan 3,9% dengan kata lain bahwa semen geopolimer dengan NaOH 3,9% lebih pekat dibandingkan dengan NaOH 2,5% dan 3,9% yang berarti pula jumlah air yang berada dalam semen geopolimer jumlahnya semakin sedikit. Berdasarkan tabel 4 diatas terlihat bahwa ada titik optimum yang menunjukkan pori tertutup paling besar yaitu pada penambahan NaOH 3,9% dengan nilai porositas sebesar 9,82% pada suhu curing 60°C, sedangkan pada suhu curing 80°C porositas sebesar 9,46% dan porositas sebesar 7,30 pada suhu curing 100°C. Penambahan NaOH juga memperlihatkan penurunan porositas juga

seiring dengan kenaikan suhu curing. Dari semua nilai porositas semen geopolimer diatas masih lebih baik dan lebih kecil dibandingkan nilai porositas semen standar yaitu sebesar 21,28%.

Nilai porositas sangat berkaitan dengan nilai kuat tekan semen geopolimer semakin tinggi nilai porositas maka akan semakin turun nilai kuat tekan.

Nilai Penyerapan

Nilai penyerapan adalah untuk mengetahui berapa banyak jumlah air yang terserap oleh semen geopolimer. Nilai penyerapan berkaitan dengan nilai porositas dari semen geopolimer, semakin turun nilai porositas maka semakin turun juga nilai penyerapan karena semakin turun nilai porositas maka semakin kecil pori-pori yang ada pada semen geopolimer maka semakin sedikit pula rongga kosong yang dapat menyerap sejumlah air.

Dari tabel 4 terlihat bahwa semakin besar penambahan NaOH dan semakin tinggi suhu curing maka akan semakin sedikit pula semen geopolimer menyerap air dengan kata lain penyerapan semakin kecil. Pada suhu curing 60°C berturut-turut penambahan NaOH 2,5%, 3% dan 3,9% maka akan menurunkan angka penyerapan berturut-turut sebesar 9,73%, 5,18%, dan 4,40% akan tetapi akan naik kembali pada saat penambahan NaOH 6% menjadi 8,62%, begitu juga pada saat suhu curing 80°C berturut-turut penambahan NaOH 2,5%, 3% dan 3,9% maka akan menurunkan angka penyerapan berturut-turut sebesar 8,06%, 4,54%%, dan 3,28% akan tetapi akan naik kembali pada saat penambahan NaOH 6% menjadi 5,96%, dan pada saat suhu curing 100°C berturut turut penambahan NaOH 2,5%, 3% dan 3,9% maka akan menurunkan angka penyerapan berturut-turut sebesar 7,38%, 3,46%%, dan 2,91% akan tetapi akan naik kembali pada saat penambahan NaOH 6% menjadi 4,84%.

Nilai Berat Jenis

Nilai berat jenis dimaksudkan untuk melihat seberapa besar nilai berat persatuan volume yang ada pada semen geopolimer seiring

dengan penambahan NaOH dan semakin meningkatnya suhu curing.

Dari Tabel 4 di atas dapat dilihat bahwa ada hubungan antara penambahan NaOH dengan berat jenis. Semakin besar jumlah penambahan NaOH maka semakin tinggi nilai berat jenis, sedangkan suhu curing tidak terlalu berpengaruh terhadap berat jenis semen geopolimer cenderung sama. Antara porositas dengan berat jenis ada hubungan pada porositas yang tinggi maka berat jenis juga akan menurun disebabkan semakin besar porositas maka semakin banyak pori-pori yang ada dan akan semakin membuat semen geopolimer menjadi lebih ringan.

Dari tabel 4 terlihat bahwa semakin besar penambahan NaOH maka akan semakin tinggi pula berat jenis semen geopolimer. Pada suhu curing 60°C beturut-turut penambahan NaOH 2,5%, 3% dan 3,9% maka akan menaikkan angka berat jenis berturut-turut sebesar 1,87 kg/cm³, 1,89 kg/cm³, dan 1,91kg/cm³ akan tetapi akan turun kembali pada saat penambahan NaOH 6% menjadi 1,86 kg/cm³. Dari semua nilai berat jenis semen geopolimer diatas dapat dikatakan masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai berat jenis semen akan tetapi tidak terlalu jauh, nilai berat jenis semen standar sebesar 1,85 kg/cm³.

Keunggulan Semen Geopolimer

1. Ramah Lingkungan
2. Hemat Energi
3. Kinerja Cukup Tinggi (Mutu Lebih Baik Dari Semen Konvensional)
4. Lebih Murah dari Semen Konvensional

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil uji kuat tekan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penambahan NaOH pada penambahan 2,5%, 3% dan 3,9% maka akan semakin meningkatkan nilai kuat tekan semen geopolimer akan tetapi penambahan yang optimum ada pada penambahan 3,9%

sedangkan pada penambahan 6% akan mengalami penurunan kembali, begitu juga pada kenaikan suhu curing akan menaikkan nilai kuat tekan semen geopolimer suhu curing 100°C nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan pada suhu curing 60 dan 80°C akan tetapi nilai kuat tekan semen geopolimer menggunakan bahan baku mineral basalt masih lebih kuat dibandingkan dengan semen standar.

2. Berdasarkan hasil uji porositas, dapat disimpulkan bahwa semen geopolimer yang mempunyai pori-pori yang kecil maka nilai porositas akan semakin kecil dengan demikian maka akan semakin meningkatkan nilai kuat tekan pada semen geopolimer sehingga dapat dikatakan bahwa mutu kuat tekan semen geopolimer sangat bergantung pada nilai porositas dan jumlah penyerapan air. Semakin kecil nilai porositas dan penyerapan air maka semakin tinggi nilai kuat tekan dan kuat tekan mengindikasikan mutu dari pada semen geopolimer.
3. Berdasarkan hasil uji berat jenis, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan NaOH maka akan semakin tinggi nilai berat jenis semen geopolimer akan tetapi akan mengalami penurunan pada saat penambahan NaOH sebesar 6%. Dari semua nilai berat jenis semen geopolimer tersebut cenderung sama tidak terlalu jauh berbeda bila dibandingkan dengan nilai berat jenis semen standar.
4. Berdasarkan hasil uji kuat tekan, porositas, penyerapan air dan berat jenis, dapat diambil kesimpulan bahwa pembuatan semen geopolimer dengan menggunakan bahan baku mineral basalt lebih baik bila dibandingkan dengan semen standar yang terbuat dari semen konvensional.

Saran

Sebaiknya dilakukan penelitian kembali dengan variasi waktu, curing apakah lamanya waktu curing berpengaruh terhadap kualitas mutu dari semen geopolimer.

Daftar Pustaka

- Anonim, Indikator Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementrian ESDM, 2011.
- Ardianto, Semen PCC, diakses 2 April 2014.
- Azhari, et.al, Pemanfaatan Residu Bauksit Untuk Pembuatan Bata Bangunan Berbasis Mineral Geopolimer, Kelompok Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Mineral, Puslitbang TEKMITRA, 2011.
- Arioz.E, et.al, The Effect of Curing Conditions on the Properties of Geopolymer Samples, International Journal of Chemical Engineering and Application Vol 4 No 6 Desember 2013, hal 423-426.
- Azwar,M, Geologi dan Mineralogi Tanah, Identifikasi Batuan, Paper Mata Kuliah, Fakultas Pertanian Jurusan Tanah Universitas Gajah Mada, Yogyakarta 2011.
- Bayuseno.A.P, et.al, Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi, Jurnal Teknik Sipil Rotasi, Vol 12, No.4 Oktober 2010, hal 10-16.
- Diharjo,K, et.al, Sifat Tahan Api dan Kekuatan Bending Komposit Geopolimer: Analisis Pemilihan Jenis Partikel Geomaterial, Proseding inSinas 2012.
- Davidovits,J, Geopolymer Cement, Institute Geopolymer, France, 2013.
- Efendy,AH, Natrium Silikat Sebagai Bahan Penghambat Api Aman Lingkungan, Jurnal Teknik Lingkungan Vo.8 No.3, September 2007, Jakarta, hal 245-252.
- Efendy Hady, Studi Struktur Mikro Pengikatan Resin Epoksi Pada Beton, Jurnal Penelitian Enjiniring, Vol 12 No.2, 2009, hal 135-140.
- Ekaputri,J.J, Triwulan, Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer, Jurnal Teknik Sipil, Vol 20.No.1 April 2013.
- <https://perdalpro.wordpress.com>, Pra Design Pabrik Portland Composite Cement (PCC) Dengan Proses Kering, diakses 1 April 2014.
- <http://kompas.com>, Geopolimer Beton Tanpa Semen Yang Ramah Lingkungan, diakses 02 Juni 2015.
- <http://www.unhas.ac.id>, Semen Cepat Geopolimer dan Pembuatannya, diakses 15 Januari 2016.
- Impy Nurbahri, Optimalisasi Pembuatan Semen PCC, diakses 24 Januari 2016.
- Kusumastuti,E, Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat), Jurnal MIPA 35 (1), 2012, Universitas Negeri Semarang.
- Manuahe,R, et.al, Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly Ash*), Jurnal Sipil Statik, Vol 2.No.6 September 2014, hal 277-282.
- Patankar,S.V, et.al, Effect Of Concentration of Sodium Hydroxide and Degree of Heat Curing on Fly Ash-Based Geopolymer Mortar, Indian Journal of Material Science, Vol 2014, Article ID 938789, 6 pages.
- Rowles,M, et.al, Chemical Optimisations of the Compressive strenght of Aluminosilicate Geopolymer Synthesised by Sodium Silicate Active of Metakaolinite, Journal of Materials Chemistry, 2013.
- Siddigui,R, et.al, Basalt: Unconventional Uses Of a Conventional Rock, International Jurnal Of Science and Engenering, Vol.3, Special Number ICRAESM, 2015, pp: 116-123.
- Sonafrak,C, Geopolymersin Alaska, Cold Climate Housing Reseach Center, Investigate 21st Century Cemen Production, 2014.
- Widjojoko.L, et.al, Kinerja Abu Batu Basalt Skoria Dengan Menggunakan Semen Serbaguna Baturaja dan Superplastiser Structure 335, Jurnal Teknik Sipil UBL, Vol 2 No. 1 April 2011 hal 79-86.