

Pemanfaatan Limbah Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara Sebagai Bahan Pembuatan Beton Geopolimer

Dedi Yuanda¹⁾, Ahmad Fadli²⁾ dan Drastinawati²⁾

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, ² Dosen Jurusan Teknik Kimia

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis

Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

dedi_yuanda@yahoo.co.id

ABSTRACT

Fly ash has a high content of silica and alumina that potential as a substitute of portland cement. In this study fly ash is utilized for making geopolimer concrete materials. The geopolimer was synthesized from fly ash Paiton Power Plant using 8, 10, 12 and 14 NaOH solution and Na-silicate/NaOH. Na-silicate/NaOH ratio used in this study were 0,8;1,2;1,6;2,0. and 80°C for curing temperature. The geopolimer were test in porosity, compressive strength, leached value and it's morphology. The compressive strength test showed that 14 NaOH solution and 2.0 Na-silicate/NaOH weight ratio were the strongest. It's value was 7.56 MPa and it's porosity was 0,0249. It was also found that the compressive strength increases with the composition of NaOH solution and Na-silicate/NaOH weight ratio. The result of TCLP test shows that for Pb, Cu, Cr are still below the quality standards based on PP No.85 TH 1999 and is still considered harmless.

Keywords: geopolimer concrete; fly ash; NaOH solution; leached

1. Pendahuluan

Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar diindustri mengalami peningkatan akhir-akhir ini. Kecenderungan ini diakibatkan naiknya harga minyak diesel industri, maka banyak industri yang beralih menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Berdasarkan data statistik yang dikeluarkan oleh badan geologi Kementerian ESDM (2011), total sumberdaya batubara yang dimiliki Indonesia mencapai 120 milyar ton dengan total cadangan sebesar 28 milyar ton yang tersebar diseluruh wilayah Indonesia.

Beton geopolimer merupakan salah satu alternatif pemanfaatan limbah *fly ash* menjadi produk bahan bangunan yang ramah lingkungan. Berbeda dengan beton biasa yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Unsur silika dan alumina yang terkandung dalam abu terbang dilarutkan dengan larutan yang bersifat alkalis yang disebut larutan alkalin. Larutan alkalin yang digunakan adalah campuran antara natrium

hidroksida (NaOH), natrium silikat (Na_2SiO_3) dan air distilat (H_2O) yang masing-masing komponen memiliki peran penting dalam sintesis. Sintesis ini didasari oleh reaksi polikondensasi dari material yang mengandung silikaaluminat dan alumina-silikat. Sintesis beton geopolimer sangat tergantung pada kondisi bahan awal yaitu sifat dan komposisi abu layang, konsentrasi larutan alkalin dan proses geopolimerisasinya [Jaarsveld dkk, 2002]. Pemilihan beton geopolimer pada penelitian ini berdasarkan pada pertimbangan mengurangi pemakaian semen secara signifikan. Hal ini lah yang menyebabkan potensi pengembangan geopolimer di Indonesia sangat besar, apalagi jika dikaitkan dengan komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi karbon nasional sebesar 26 % pada tahun 2020 menurut kerangka kerja UNFCCC [Hilman, 2010]

Ekaputri dkk (2013) melaporkan pembuatan pasta geopolimer dari fly ash, *trass* dan lumpur Sidoarjo, agregat halus, agregat

kasar. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan tertinggi 51,3 MPa pada molaritas NaOH 14M. Selain itu Motorwala dkk (2013) telah membuat beton geopolimer berbasis abu terbang (*fly ash*)-agregat kasar dengan alkali teraktivasi dan penambahan *super plasticizer*. Pada penelitian tersebut dilakukan variasi molaritas NaOH 8M, 10M, 12M, 14M dan variasi suhu *curing* (25°C, 60°C, 80°C) sementara rasio NaSiO₃ terhadap NaOH adalah tetap, kuat tekan tertinggi 30,95 MPa. Penelitian tersebut menunjukkan naiknya kuat tekan seiring kenaikan konsentrasi alkali dan suhu *curing*. Pada penelitian tersebut diatas tidak dilakukan uji TCLP terhadap pasta geopolimer yang diperoleh.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi molaritas NaOH dan rasio perbandingan Na₂SiO₃/NaOH terhadap kuat tekan, tingkat pelindian dan porositas dari beton geopolimer yang dihasilkan.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan

Bahan baku penelitian ini meliputi abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Paiton, natrium hidroksida [NaOH] (Merck, Germany), natrium silikat [Na₂SiO₃] (Merck, Germany), asam nitrat [HNO₃] (Merck, Germany), aquades.

2.2 Alat

Alat yang akan diperlukan pada penelitian ini adalah timbangan analitik, ayakan 200 mesh, gelas ukur 50 ml, *hot plate*, cetakan berbentuk silinder diameter 4 cm dan tinggi 8 cm, pengaduk semen, kertas saring atau saringan fiber glass, corong, gelas piala 250 ml, *oven*, ember, labu ukur 1 liter, timbangan untuk porositas, spatula, labu takar 1000 ml.

2.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian meliputi variabel tetap dan berubah. Variabel tetap adalah ukuran beton geopolimer (diameter 4 cm dan tinggi 8 cm), perbandingan *fly ash* dan aktivator dalam geopolimer 70:30, waktu pengerasan beton geopolimer 28 hari. Sedangkan variabel berubah terdiri dari konsentrasi NaOH 8M, 10M,

12M, 14M, Dan perbandingan Na₂SiO₃/NaOH 0,8; 1,2; 1,6; 2,0.

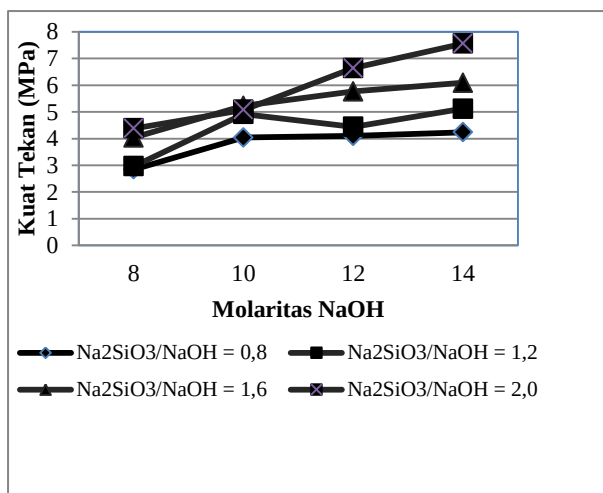
2.4 Cara Kerja

Penelitian ini dimulai dengan terlebih dahulu mempersiapkan larutan aktivator. Sebelum dipergunakan larutan aktivator ini didiamkan selama sehari terlebih dahulu. Mula-mula siapkan semua bahan dan peralatan yang dibutuhkan seperti yang disebutkan diatas. Larutan aktivator yang telah dipersiapkan sehari sebelumnya kemudian dicampur dengan *fly ash* kedalam ember. Setelah itu adonan yang terbentuk diaduk dengan menggunakan pengaduk hingga adonan menjadi rata. Lumuri cetakan dengan oli agar adonan yang dihasilkan tidak lengket dicetakan pada saat dibuka. Masukkan adonan geopolimer yang telah rata tersebut kedalam cetakan berbentuk silinder diameter 4 cm. Adonan dipadatkan agar campuran mengisi seluruh cetakan dengan cara digetarkan, setelah rata ditutup rapat kemudian dioven dengan suhu 80°C selama 24 jam. Setelah 24 jam adonan mengeras dan dilepas dari cetakan dan dimasukkan dalam tempat plastik tertutup selama 3 hari, kemudian tutupnya dibuka dan dibiarkan dalam suhu kamar sampai tiba waktu pengetesan (28 hari). Uji yang dilakukan adalah porositas, kuat tekan dan uji pelindian (TCLP).

3. Hasil dan Pembahasan

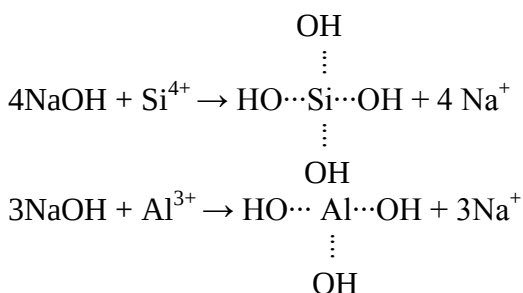
3.1 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan

Tes kuat tekan dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder berukuran 4 cm x 8 cm setelah didiamkan selama 28 hari. Hasil uji kuat tekan terbaca dalam satuan Kilo Newton (KN) yang kemudian dikonversi kedalam satuan Mega Pascal (MPa). yang merupakan satuan umum yang sering dipakai untuk unjuk kinerja kekuatan beton. Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kuat tekan beton geopolimer meningkat dengan bertambahnya molaritas larutan NaOH dan kenaikan perbandingan Na₂SiO₃/NaOH.



Gambar 1. Hasil Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer

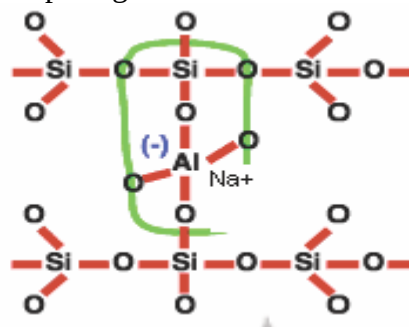
Kekuatan tekan tertinggi dihasilkan pada beton geopolimer dengan molaritas 14M dan perbandingan Na₂SiO₃/NaOH 2.0 sebesar 7.56 Mpa. Kenaikan kuat tekan ini disebabkan oleh naiknya molaritas yang digunakan dalam campuran sehingga berdampak terhadap pengikatan beton geopolimer yang berlangsung relatif lebih cepat. Larutan NaOH 10M lebih pekat jika dibandingkan dengan larutan NaOH 8 M. Semakin tinggi molaritas larutan NaOH yang digunakan maka jumlah air yang ada didalam campuran juga semakin sedikit. Hal ini menyebabkan beton geopolimer dengan molaritas NaOH lebih tinggi cepat mengeras. Selain itu larutan NaOH diperlukan dalam reaksi geopolimerisasi, yaitu untuk pelarutan Si dan Al pada partikel abu terbang dalam fasa gel. Ion hidroksida mengaktifkan oksida-oksida Si dan Al untuk membentuk monomer pembentuk geopolimer. Reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut [Fansuri dkk, 2008].



Larutan NaOH yang lebih pekat menyediakan ion OH⁻ lebih banyak sehingga

pembentukan monomer-monomer lebih optimal [Fansuri dkk, 2008]. Pada gambar 1 terlihat bahwa terjadi penurunan kuat tekan pada molaritas NaOH 12 M dan rasio Na₂SiO₃/NaOH 1.2 hal ini terjadi karena larutan NaOH juga dikonsumsi oleh unsur lain seperti Fe dan Ca. Fe₂O₃ dapat bereaksi dengan NaOH membentuk Fe(OH)₃ dan mengendap dalam bentuk hidroksida atau oksihidroksidanya.

Kondisi ini menyebabkan NaOH yang seharusnya digunakan untuk melarutkan Si dan Al justru bereaksi dengan logam-logam lain. Sementara Ca dapat bereaksi dengan H₂O membentuk senyawa Ca(OH)₂. Davidovits (1991) menyatakan bahwa geopolimer yang berasal dari abu terbang mengandung rantai Si-O-Al dengan tetrahedral SiO₄ dan AlO₄ yang tersambung secara bergantian dengan menggunakan semua unsur oksigennya. Kondisi bahwa unsur Al memiliki koordinasi 4 dengan unsur O membuat ketidakseimbangan muatan negatif dalam struktur beton geopolimer. Sehingga disini peranan kation-kation Na⁺ untuk tetap mempertahankan kenetralan muatan didalam matrik geopolimer tersebut seperti gambar berikut.

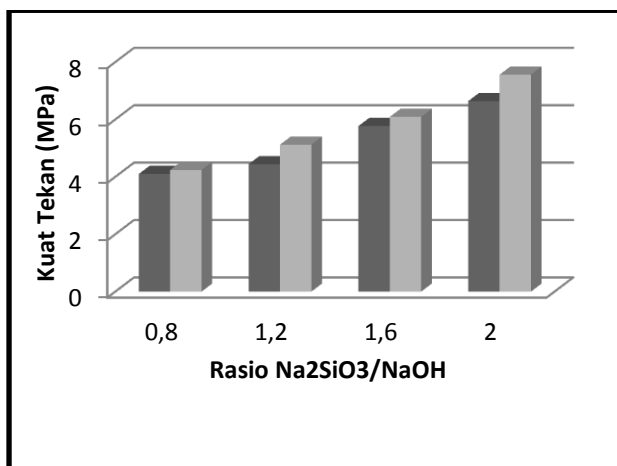


Gambar 2. Ikatan Si dan Al Pada Beton Geopolimer (Davidovits, 1991)

3.2 Pengaruh Rasio Na₂SiO₃/NaOH Terhadap Kuat Tekan

Kaitan antara kuat tekan geopolimer dari abu terbang terhadap perbandingan Na₂SiO₃/NaOH bisa dilihat pada gambar 3. Sampel yang mempunyai perbandingan Na₂SiO₃/NaOH lebih besar mempunyai nilai kuat tekan yang relatif lebih baik. Semakin besar perbandingan Na₂SiO₃/NaOH maka kuat

tekan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena jumlah Na_2SiO_3 semakin banyak. Na_2SiO_3 berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi polimerisasi adalah reaksi pengikatan rantai monomer Si-O dan Al-O yang terkandung dalam *fly ash* dan juga Na_2SiO_3 yang kemudian akan mengkristal [Hardjito dan Rangan, 2005].



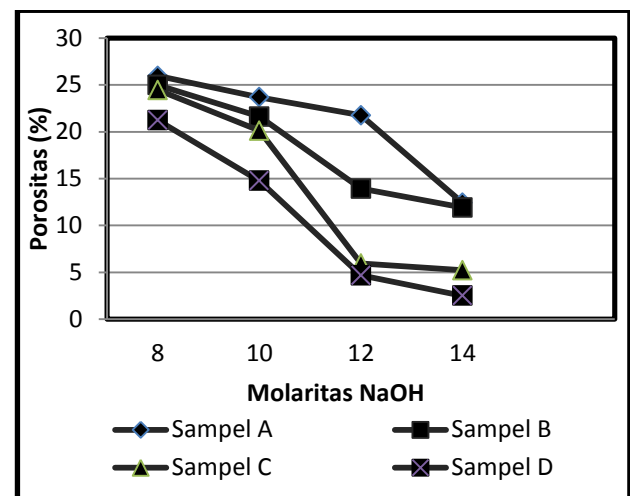
Gambar 3. Kuat Tekan Beton Geopolimer Terhadap Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$

Peran penting natrium silikat telah diselidiki sebelumnya dan apabila natrium silikat tidak ada, maka kuat tekan beton geopolimer akan turun drastis. Selain itu ion-ion silikat yang terkandung didalam larutan natrium silikat sudah dalam bentuk oligomer yang siap berpolimerisasi dengan ion-ion silikat dan aluminat dari pelarutan aluminosilikat abu terbang. Semakin banyak natrium silikat yang digunakan berarti semakin banyak pula oligomer silikat reaktif yang tersedia. Oleh karena itu, geopolimer yang dibuat dengan jumlah natrium silikat lebih besar menghasilkan kuat tekan yang tinggi sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 3 diatas. Jika terdapat jumlah Na_2SiO_3 yang banyak dalam campuran, maka proses pengkristalan juga berjalan relatif lebih cepat.

3.3 Pengaruh Molaritas NaOH Terhadap Porositas

Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam beton terhadap volume benda. Data hasil pengujian akan dibandingkan dengan parameter konsentrasi dan perbandingan natrium silikat terhadap natrium

hidroksida. Grafik hubungan molaritas dengan porositas beton geopolimer seperti yang terlihat pada gambar 4 berikut ini.

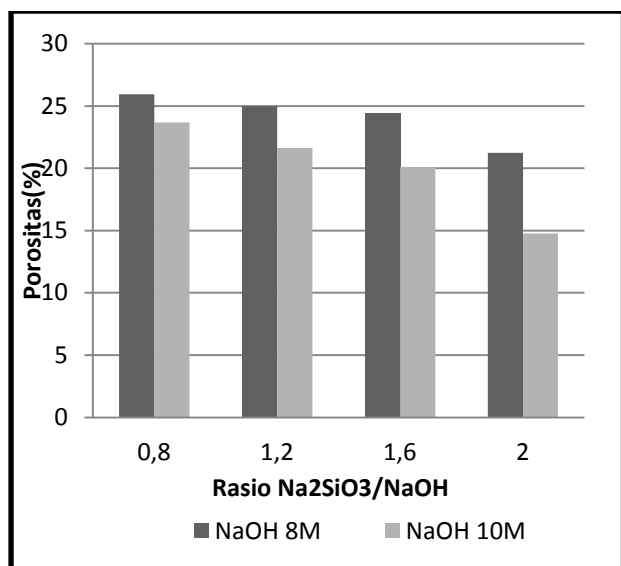


Gambar 4. Hasil Porositas Beton Geopolimer

Pori-pori dalam geopolimer sangat mempengaruhi kuat tekan geopolimer. Pada gambar 4 diatas terlihat semakin tinggi molaritas, porositas beton geopolimer juga semakin kecil. Hal ini dipengaruhi oleh kekentalan yang dimiliki oleh NaOH dalam campuran setiap komposisi [Ekaputri dkk, 2010]. Kepekatan berhubungan dengan banyaknya air yang dicampurkan kedalam larutan. Pada saat proses curing dilakukan, air yang berada didalam beton geopolimer akan menguap sehingga rongga yang dulunya ditempati oleh air menjadi kosong. Beton geopolimer yang menggunakan larutan NaOH 14M lebih pekat jika dibandingkan dengan NaOH 8M. Oleh sebab itu, jumlah air yang berada dalam rongga beton geopolimer 14M lebih sedikit jika dibandingkan dengan beton geopolimer yang menggunakan larutan NaOH 8M dan hal itu menyebabkan porositas pada beton geopolimer 8M lebih banyak jika dibandingkan dengan geopolimer 14 M.

3.4 Pengaruh Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Terhadap Porositas

Peningkatan rasio berat $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ cenderung menurunkan porositas beton geopolimer yang dihasilkan. Hal ini bisa dilihat dari gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pengaruh Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ terhadap porositas

Gambar diatas adalah perbandingan pengaruh rasio terhadap porositas pada dua perlakuan konsentrasi yakni 8 M dan 10 M. Dari gambar diatas dilihat bahwa rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ berpengaruh terhadap porositas beton geopolimer yang dihasilkan. Semakin tinggi rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ maka proses polimerisasi akan berlangsung semakin cepat sehingga pori-pori yang akan terbentuk akan berkurang. Pada rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ 0.8 porositas sampel 8 M adalah 25,95 % sedangkan sampel 10 M adalah 23,69 %, ketika rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ naik 1.2 porositas sampel 8 M turun menjadi 24,98 % begitu juga halnya pada sampel 10 M yang turun menjadi 21,62 %. Hal diatas sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa peningkatan berat rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ menurunkan porositas geopolimer yang dihasilkan [Fansuri dkk, 2008].

3.6 Analisa TCLP (*Toxicity Characteristic Leached Procedure*)

Pada penelitian ini limbah abu terbang terlebih dahulu dilakukan analisis awal beberapa kandungan logam berat yang dimaksudkan untuk mengidentifikasi apakah bahan tersebut termasuk dalam kategori B3 atau tidak. Selanjutnya pengujian terhadap kandungan logam berat pada beton geopolimer

yang telah dilakukan uji kuat tekan. Dengan melakukan pengujian ini akan diketahui kemampuan sampel beton geopolimer dalam mengimmobilisasi logam berat yang terkandung didalam sampel.

Dalam metode TCLP material solidifikasi dihancurkan menjadi partikel butir yang selanjutnya didestruksi sampai dengan proses didapatkan filtrat hasil penyaringan yang kemudian diuji dengan AAS. Uji TCLP pada beton geopolimer dilakukan pada sampel D4 yang mempunyai kuat tekan paling tinggi dan dilakukan setelah sampel berumur 28 hari. Hasil pengujian kandungan logam pada *fly ash* dan sampel D4 bisa dilihat seperti tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Analisis Kandungan Logam Pada *Fly Ash* dan Sampel D4

Nama Logam	Hasil Analisis <i>Fly ash</i> (mg/L)	Hasil Analisis Beton Geopolimer (mg/L)	Standar PP 85 /1999 (mg/L)
Pb	8,954	3,892	5
Cr	6,978	3,718	5
Cu	12,355	6,92	10

Dari tabel diatas terlihat bahwa hasil analisa AAS menunjukkan abu terbang yang diuji mengandung logam berat Pb,Cu,Cr diatas ambang batas yang diizinkan oleh PP No.85 Tahun 1999. Sehingga limbah abu terbang tersebut perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut sesuai yang dianjurkan peraturan pemerintah diatas yakni dengan teknik solidifikasi. Berdasarkan hasil uji TCLP pada sampel D4 menunjukkan bahwa solidifikasi limbah abu terbang sebagai campuran beton geopolimer memberikan hasil yang signifikan untuk mengimmobilisasi logam berat yang ada di dalam limbah abu tersebut.

Kandungan logam Pb yang semula 8,954 mg/L pada abu terbang berkurang menjadi 3,892 mg/L setelah disolidifikasi menjadi beton geopolimer, begitu juga dengan kadar logam lainnya yang mengalami

penurunan. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa geopolimer mempunyai kemampuan untuk mempertahankan unsur-unsur logam berat yang ada didalam bahan baku berupa abu terbang dengan diamobilisasi oleh matrik beton geopolimer [Zhang dkk.,2008].

4. Simpulan

1. Semakin tinggi molaritas yang digunakan maka jumlah total pori-pori semakin sedikit sehingga semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan. Beton geopolimer yang menggunakan molaritas 14M menghasilkan kuat tekan paling tinggi yakni 7.56 MPa sedangkan beton geopolimer dengan molaritas 8M menghasilkan kuat tekan lebih rendah yaitu 4.38 MPa.
2. Semakin tinggi perbandingan massa larutan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ cenderung menghasilkan kuat tekan yang lebih baik, hal ini terlihat pada rasio 2.0 kuat tekan rata-ratanya adalah 5.92 MPa.
3. Limbah abu terbang layak dijadikan bahan pembuatan beton geopolimer, karena menghasilkan kuat tekan yang baik dengan range 2.85-7.56 MPa.
4. Pada karakteristik kimia (uji TCLP) diketahui bahwa produk beton geopolimer dapat mengimmobilisasi logam berat dengan baik. Logam Pb dari 8.954 mg/L menjadi 3.892 mg/L, logam Cr dari 6.978 mg/L menjadi 3.718 mg/L dan logam Cu dari 12.355 mg/L menjadi 6.92 mg/L.

5. Saran

1. Untuk menghasilkan kuat tekan yang lebih baik maka perlu dipelajari tentang bahan tambahan (*additive*) agar menghasilkan produk beton geopolimer berkualitas tinggi.
2. Untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi proses geopolimerisasi fly ash perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variabel yang lebih beragam seperti suhu curing, perbandingan campuran dan jenis aktivator yang digunakan.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Ir.Aman, M.T atas diskusi yang sangat berguna dan ilmu-ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- , 1999. Peraturan Pemerintah Nomor 85 Tahun 1999, Tentang Perubahan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999, Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Sekretariat Bapedal, Jakarta.
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers: inorganic polymeryc new material. *Journal Thermal Analysis*, 37, 1633-56.
- Ekaputri, J.J., & Triwulan. (2013). Sodium sebagai aktivator fly ash, trass dan lumpur Sidoarjo dalam beton geopolimer. *Jurnal Teknik Sipil*, 20, 4-5.
- Fansuri, Hamzah dkk. (2008). The Effect of Sodium Silicate and Sodium Hydroxide on The Strength of Aggregates Made From Coal Fly Ash Using The Geopolimerization Method. Institut Teknologi Sepuluh November. Indonesia.
- Hardjito, D., & Rangan, B.V. (2005). Development and properties of low-calcium fly ash based geopolymers concrete. <http://www.geopolymer.org/journal/geopolymer/pdf>. Diakses tanggal 14 Mei 2014.
- Hilman, M. (2010). Indonesia second national communication under the United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Republik of Indonesia Ministry of Environment.
- Jaarsveld, V.J.G., Deventer, J.S.J., Lukey, G.J. (2002). The effect of composition and temperature on the properties of fly ash and kaolinite-based geopolymers. *Chemical Engineering Journal*, 89, 63-73.
- Kementrian ESDM, (2011) : Toksisitas abu terbang PLTU batubara yang berada di Sumatra dan Kalimantan, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Jakarta.

- Motorwala,A.,Shah,V.,Kammula,R.,Nannapaneni, P., Raijiwala,D.B. (2013). Alkali activated fly ash based geopolymer concrete. *International Journal of Emerging Technology and Advance Engineering* ,3,159-166.
- Zhang, J., Provis ,J.L.,Feng, D., dan Van Deventer , J.S.J., (2008).Geopolymer For Immobilization of Cr^{6+} , Cd^{2+} dan Pb^{2+} . *Journal of Hazardous Material*,157, 587-598.