

Immobilisasi Fe^{3+} dan Cr^{6+} pada Geopolimer Berbasis Abu Layang-Abu Sekam Padi

Mega Bunga Persada[✉], Ella Kusumastuti, dan F. Widhi Mahatmanti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Maret 2018

Disetujui April 2018

Dipublikasikan Mei 2018

Keywords:

geopolimer
abu layang
abu sekam padi
immobilisasi
ion logam $\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{6+}$

Abstrak

Pada penelitian ini immobilisasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} pada geopolimer berbasis abu layang dan abu sekam padi beserta pengaruhnya terhadap kualitas geopolimer secara kualitatif telah diteliti. Abu layang PLTU Karang Kandri Cilacap dan abu sekam padi dari pembakaran batu bata di Klaten Jawa Tengah digunakan sebagai bahan dasar. Abu sekam padi ditambahkan sebanyak 0-7,5 g untuk memperoleh geopolimer dengan kuat tekan optimum, yang digunakan pada sintesis geopolimer yang di immobilisasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} dengan konsentrasi 20-100 mmol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi sebanyak 3 g menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan optimum yaitu 35,43 MPa. Ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} berpengaruh terhadap kuat tekan geopolimer, semakin banyak ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} yang ditambahkan maka kuat tekan geopolimer akan semakin meningkat hingga batas optimumnya. Kuat tekan optimum diperoleh pada penambahan ion logam dengan konsentrasi 60 mmol yaitu sebesar 37,22 MPa (Fe^{3+}) dan 36,14 MPa (Cr^{6+}). Kuat tekan minimum diperoleh pada penambahan ion logam 100 mmol yaitu sebesar 20,36 MPa (Fe^{3+}) and 20,74 MPa (Cr^{6+}). Uji *leaching* menunjukkan bahwa geopolimer dapat mengimmobilisasi ion logam Fe^{3+} lebih efektif dibandingkan dengan Ion logam Cr^{6+} yang tidak dapat terikat secara kimiawi dan hanya terdistribusi pada rongga geopolimer sehingga lebih mudah *terleaching*.

Abstract

Immobilization of Fe^{3+} and Cr^{6+} by using geopolymer based on fly ash (FA) and rice husk ash (RHA) and the effect on quality of geopolymer qualitatively have been investigated. Type C fly ash from Karang Kandri power plant in Cilacap and rice husk ash from burning briks in Klaten Central Java was used as the raw material. Rice husk ash was added from 0-7.5 g to produce geopolymer with optimum compressive strength, which composition used for geopolymer synthesis with addition of Fe^{3+} and Cr^{6+} metal ions. Fe^{3+} and Cr^{6+} metal ions were added into geopolymer paste at the level of 20-100 mmol. The result showed that the addition of 3 g rice husk ash produce geopolymer with optimum compressive strength to 35.43 MPa. The addition of 60 mmol of Fe^{3+} and Cr^{6+} metal ions improve the compressive strength to 37.22 MPa and 36.4 MPa. Further addition of metal ions reduce these value and the lowest compressive strength was observed on the additon of 100 mmol of Fe^{3+} and Cr^{6+} namely 20.36 MPa and 20.74 MPa. Leaching test was conducted by using AAS, leaching tests show that geopolymers can immobilize Fe^{3+} metal ions more effectively when compared to Cr^{6+} metal ions which is distributed throughout the geopolymer and is not chemically bound making it easier to leach out.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

✉Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: megabungapersada@gmail.com

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Semakin tumbuhnya kesadaran terhadap lingkungan dan adanya kebutuhan berlanjut akan bahan konstruksi menyebabkan upaya untuk mencari bahan alternatif untuk mengurangi penggunaan OPC semakin meningkat, termasuk pemanfaatan bahan penyemenan tambahan seperti abu layang. Sifat *pozzolanik* abu layang menjadikannya sangat potensial untuk pembuatan material yang bersifat sementasi seperti pada geopolimer (Kong *et al.*, 2007). Sifat *pozzolanik* yang dimiliki abu layang menyatakan keaktifan silika dan alumina (Ademiec *et al.*, 2008), dimana silika dan alumina ini sangat penting dalam pembentukan rantai Si-O-Al dalam geopolimer (Davidovits, 1991). Salah satu pemanfaatan abu layang dalam bidang konstruksi adalah sebagai bahan dalam pembuatan geopolimer. Geopolimer merupakan suatu polimer anorganik yang mulai dikembangkan pada dekade '80-an sebagai alternatif pengganti maupun pelengkap semen portland dalam konstruksi sipil.

Selain abu layang, sebagai sumber alumina silikat yang melimpah adalah abu sekam padi. Sekam padi telah dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk instalansi pembangkit listrik kecil dan berbagai macam aplikasi. Abu sekam padi dan abu layang mengandung silika reaktif yang dapat dipergunakan sebagai *pozzolan*, kedua material ini dapat digunakan untuk mensintesis geopolimer (Chindaprasirt *et al.*, 2009). Secara teoritis, kadar silika akan meningkat dengan semakin meningkatnya kadar abu sekam padi dalam suatu geopolimer, dan ikatan Si-O-Si yang terbentuk akan lebih kuat dari pada ikatan Si-O-Al atau ikatan Al-O-Al (Jian *et al.*, 2013; Duxon *et al.*, 2005). Semakin banyak jumlah abu sekam padi yang ditambahkan maka kuat tekan dari suatu geopolimer akan meningkat pula hingga mencapai titik maksimumnya. Pada Abu sekam padi terkandung SiO₂ sebanyak 95,6% berat dan pada abu layang terkandung SiO₂ sebanyak 63,9% berat, dan Al₂O₃ sebanyak 20,0% berat (Hwang & Huynh, 2015).

Di seluruh dunia, jutaan ton limbah dihasilkan setiap tahunnya, seringkali limbah ini mengandung ion logam yang dapat mengancam lingkungan. Sebelum dibuang, limbah ion logam dapat diekstraksi atau diimmobilisasi. Teknik immobilisasi dapat mencegah sejumlah besar limbah yang mengandung ion logam berinteraksi dengan lingkungan. Sebagai salah satu teknik, geopolimerisasi baru-baru ini memperoleh perhatian yang signifikan karena biayanya yang rendah dan efektivitasnya yang tinggi (Van Jaarsvelt & Van Deventer, 1996). Misalnya saja geopolimer telah digunakan untuk menstabilkan logam berbahaya termasuk limbah radio aktif, elemen nonlogam dan logam berat. Mekanisme immobilisasi ion logam dalam matriks geopolimer terjadi melalui penyerapan fisik dan enkapsulasi kimia. Immobilisasi ion logam pada abu layang diaktifkan oleh alkali dengan ion logam bertindak sebagai ion penyeimbang muatan dan sebagai endapan tidak larut yang di enkapsulasi dalam struktur geopolimer (Ogundiran *et al.*, 2013).

Ketahanan ion logam Fe³⁺ dan Cr⁶⁺ dalam geopolimer ditentukan dengan proses *leaching*. Banyaknya konsentrasi logam yang *terleaching* dapat dipengaruhi oleh ukuran ion logam seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Semakin sedikit ion logam berat yang *terleaching* berarti geopolimer mengimmobilisasi ion logam berat dengan baik. Berdasarkan *The Environmental Protection Agency (EPA) Methode 1311*. Metode yang dapat digunakan adalah *Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)* yang merupakan cara untuk menentukan suatu bahan/limbah memiliki kandungan polutan beracun yang mobilitasnya tinggi bila bercampur dengan air. Dengan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka pada kesempatan kali ini penulis ingin mempelajari immobilisasi dari ion logam Fe³⁺ dan Cr⁶⁺ pada geopolimer berbasis abu layang dan abu sekam padi.

Metode

Alat yang dipakai dalam penelitian ini meliputi alat untuk sintesis geopolimer dan alat untuk karakterisasi geopolimer. Alat yang digunakan dalam sintesis geopolimer meliputi neraca analitik *Denver*, ayakan 200 *mesh*, cetakan silinder plastik. Alat yang digunakan dalam karakterisasi geopolimer meliputi alat penguji kuat tekan (*Universal Testing Machine*) Ele, *Shaker*, FT-IR *Perkin Elmer* model *Frontier*, XRD (*X-Ray Diffraction*), XRF (*X-Ray Fluorescence*) Bruker, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) Jeol, AAS *Perkin Elmer Analyst 400*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu layang batu bara yang diambil dari PLTU Karang kandri Cilacap, Sekam padi diperoleh dari penggilingan padi yang ada di daerah Gunungpati. Na₂SiO, NaOH, Aquades, HNO₃, K₂CrO₄, Fe(NO₃)₃·9H₂O dengan *grade pro-analyst* buatan *Merck*.

Sekam padi dan abu layang diayak untuk memisahkan kotoran yang mungkin ada saat pengambilan abu sekam. Abu sekam padi selanjutnya di haluskan dengan menggunakan mortar dan alu. Abu sekam padi yang telah halus dipanaskan di dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam dan diayak dengan ayakan 200 *mesh* (Anwar, 2016). Abu layang dikurangi kandungan oksida besinya dengan menggunakan pemisah magnetik (Suprpto *et al.*, 2016). Larutan pengaktif dibuat dengan melarutkan NaOH 99,99% dengan aquades terlebih dahulu dan didiamkan selama minimal 24 jam. (Jaarsveld *et*

al., 2003; Duxon, 2007). Larutan ion logam Fe^{3+} 100 mmol dibuat dengan cara melarutkan $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ sebanyak 0,22 g ke dalam labu ukur 10 mL. Dilakukan hal yang sama untuk membuat larutan $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 80; 60; 40; 20 mmol. Larutan ion logam Cr^{6+} 100 mmol dibuat dengan cara melarutkan K_2CrO_4 sebanyak 0,21 g ke dalam labu ukur 10 mL dengan menambahkan aquades sampai tanda batas. Dilakukan hal yang sama untuk membuat larutan K_2CrO_4 80; 60; 40; 20 mmol.

Pada sintesis geopolimer abu layang dan abu sekam padi dengan komposisi pada Tabel 1 yang telah dipreparasi sebelumnya diaduk hingga homogen setelah ditambahkan larutan pengaktif hingga berbentuk pasta. Pengadukan awal dilakukan dengan tangan selama 2 menit, kemudian menggunakan mixer selama 3 menit. Penambahan larutan Fe^{3+} dan Cr^{6+} sebanyak 1,44 mL dalam 10 detik setelah percampuran abu layang dengan larutan pengaktif (Tampubolon *et al.*, 2015). Pasta tersebut dituang ke dalam cetakan silinder dengan perbandingan diameter dan tinggi 1:2 (ASTM C39M, 2014). Penuangan dilakukan secara bertahap dan divibrasi selama 2 menit. Sampel uji didiamkan sampai mengering dan dilepaskan dari cetakan selama (1-3 hari) bila telah mengering. Sampel uji diletakkan di dalam loyang dan ditutup plastik, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu $60^\circ C$ selama 24 jam. Kemudian sampel uji didiamkan pada suhu ruangan selama 28 hari. Setelahnya dapat dilakukan uji kuat tekan. Geopolimer dengan kuat tekan terbaik, komposisi bahannya akan digunakan untuk sintesis geopolimer dengan penambahan ion logam, S/L yang digunakan 1,6 (Kusumastuti, 2009).

Geopolimer terimmobilisasi ion logam dengan kuat tekan optimum dihaluskan dan diayak dengan ayakan 200 Mesh kemudian ditimbang sebanyak 2 g dari masing-masing sampel. Proses *leaching* dilakukan dengan 80 mL larutan asam nitrat, diatur pada pH 1, kemudian diaduk dengan *Stirrer* selama 1 jam. Larutan asam nitrat dibuat dengan melarutkan 6,94 mL HNO_3 14,33 M dalam 1000 mL aquades. Rasio antara sampel dan asam nitrat dibuat antara 1:40. Sampel *leaching* diambil sebanyak 10 mL pada saat 0 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, 18 jam dan 24 jam. Cairan disaring dengan kertas saring Whatman 40. Kemudian dilakukan analisis dengan AAS untuk mengetahui Konsentrasi ion logam yang terleaching.

Tabel 1. Komposisi bahan sintesis geopolimer (a) penambahan abu sekam (b) penambahan Fe^{3+}/Cr^{6+}

No	S/L	Rasio SiO_2/Al_2O_3	Berat abu layang (g)	Abu sekam padi (g)	Berat Na-silikat (g)	Berat NaOH (g)	Berat H_2O (g)
1	1,6	2,27	35,2	0	10	4	8
2	1,6	2,41	33,7	1,5	10	4	8
3	1,6	2,56	32,2	3	10	4	8
4	1,6	2,71	30,7	4,5	10	4	8
5	1,6	2,86	29,2	6	10	4	8
6	1,6	3,10	27,7	7,5	10	4	8

(a)

No	S/L	Berat abu layang (g) + Abu Sekam Padi (g)	Berat Na-silikat (g)	Berat NaOH (g)	Berat H_2O (g)	Fe^{3+} / Cr^{6+} (mol)	Larutan Fe^{3+} / Cr^{6+} (g)
1	1,6	35,2	10	4	8	0	0
2	1,6	37,504	10	4	8	0,1	1,44
3	1,6	37,504	10	4	8	0,08	1,44
4	1,6	37,504	10	4	8	0,06	1,44
5	1,6	37,504	10	4	8	0,04	1,44
6	1,6	37,504	10	4	8	0,02	1,44

(b)

Hasil dan Pembahasan

Tingginya kandungan senyawa oksida besi pada abu layang kelas C dapat mempengaruhi jumlah mol Fe^{3+} yang akan diimmobilisasi di dalam geopolimer, sehingga perlu adanya pengurangan jumlah oksida besi (Fe_2O_3) yang terdapat pada abu layang. Kandungan oksida besi (Fe_2O_3) yang terdapat pada abu layang sebelum dan setelah pengurangan Fe^{3+} ditunjukkan pada Tabel 2.

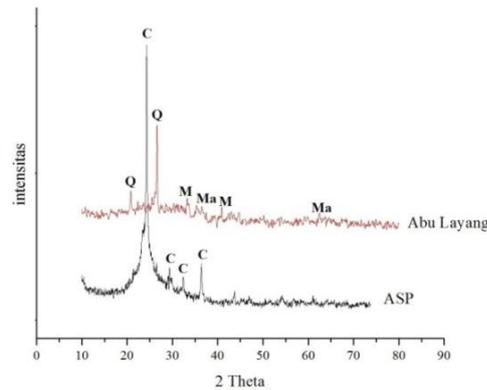
Setelah dilakukan pemisahan secara magnetik terjadi perubahan komposisi pada abu layang yang dapat dilihat pada Tabel 2. Kadar Fe_2O_3 menurun dari 20,78% menjadi 16,10% berat dan kandungan kuarsa (SiO_2) meningkat dari 30,97% menjadi 34,81% berat. Selain itu terjadi pengurangan terhadap kandungan kalsium oksida (CaO). Hal ini menunjukkan bahwa semakin sedikit kandungan kalsium oksida dan kandungan logam oksida lainnya dalam abu layang akan meningkatkan kandungan kuarsanya (SiO_2) karena kuarsanya terbebas dari logam oksida (Faridah *et al.*, 2012). Hasil karakterisasi kandungan

kimia abu sekam padi disajikan pada Tabel 2. Analisis Kandungan Kimia abu sekam padi dilakukan dengan menggunakan metode XRF.

Tabel 2. Komposisi kimia abu layang batubara dan abu sekam padi

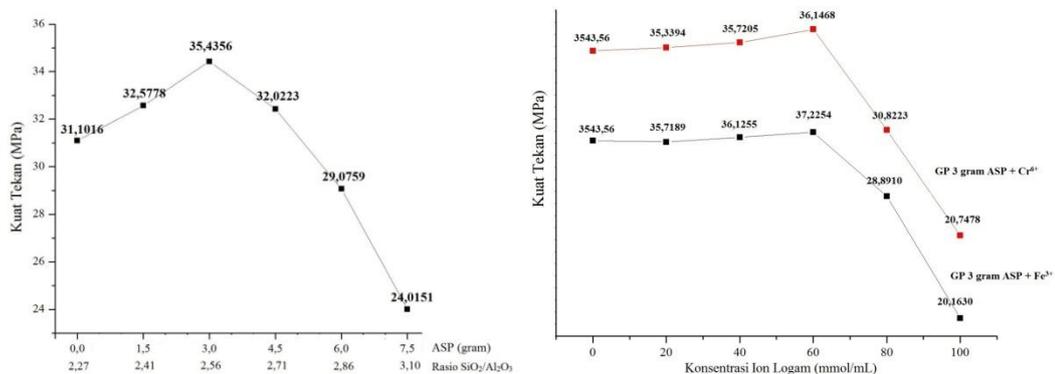
No	Komponen	Abu Layang				Abu Sekam Padi	
		Sebelum pengurangan Fe		Setelah pengurangan Fe		Persen Berat %	Banyak mol dalam tiap gram (mol)
		Persen Berat %	Banyak mol dalam tiap gram (mol)	Persen Berat %	Banyak mol dalam tiap gram (mol)		
1	SiO ₂	30,97	0,00516	34,81	0,00580	78,90	0,01315
2	Al ₂ O ₃	17,03	0,00166	31,81	0,00311	18,42	0,0018
3	Fe ₂ O ₃	20,78	0,00129	16,10	0,00106	0,56	0,0001
4	CaO	21,83	0,00389	16,15	0,00288	1,51	0,00026
5	Cr	0,03	0,000005	0,04	0,000007	0,10	0,000019
6	Ti	1,60	0,00033	1,22	0,00025	-	-
7	Sr	0,45	0,000051	0,46	0,000052	-	-
8	Mn	-	-	-	-	0,32	0,0001

Gambar 1. merupakan difraktogram abu layang dan abu sekam padi. Mineral utama (C) *cristobalite* ditunjukkan oleh puncak difraksi tajam pada $2\theta = 26,66^\circ, 29,09^\circ, 31,20^\circ$ dan $39,52^\circ$ (Putranto *et al.*, 2015). Puncak-Puncak tajam fasa *cristobalite* menunjukkan kristalisasi dari silika yang merupakan komponen utama pada abu sekam padi. Abu layang merupakan material amorf dengan kandungan utama mineral (Q) *quartz* dan *Mulite*. Mineral utama (Q) *Quartz* (SiO₂) ditunjukkan oleh puncak difraksi tajam pada $2\theta = 20,80^\circ$ dan $26,38^\circ$, (M) *Mulite* pada $2\theta = 33,39^\circ$ dan $42,89^\circ$, (Ma) *Magnetite* (Fe₃O₄) pada $2\theta = 35,30^\circ$ dan $62,30^\circ$.



Gambar 1. Difraktogram abu layang batubara Cilacap dan abu sekam padi (Q=*quartz*, M=*Mullite*, Ma=*Magnetite*, C=*cristobalite*)

Hasil analisis kuat tekan geopolimer dengan penambahan abu sekam padi dan immobilisasi ion logam disajikan pada Gambar 2.

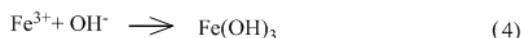
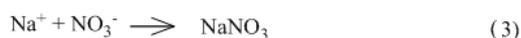
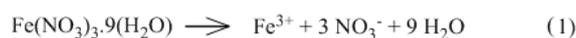


Gambar 2. Grafik analisis kuat tekan geopolimer (a) terhadap banyak abu sekam padi dan (b) konsentrasi ion logam yang ditambahkan.

Pada penambahan abu sekam padi 0-3 g terjadi kenaikan kuat tekan geopolimer berturut-turut sebesar 31,1; 32,57 dan 35,43 MPa. Hal ini terjadi karena semakin banyak mol SiO₂ yang ditambahkan maka semakin banyak pula ketersediaan monomer silikat dan oligomer silikat, sehingga rantai

aluminosilikat yang terbentuk semakin panjang dan kekuatannya semakin meningkat. Pada penambahan abu sekam padi sebanyak 4,5-7,5 g terjadi penurunan kuat tekan yaitu dari 32,02; 29,07; 24,01 MPa. Hal ini terjadi karena secara keseluruhan penambahan abu sekam padi dengan jumlah yang terlalu banyak dalam campuran akan memberikan pengaruh negatif terhadap laju reaksi dalam proses geopolimerisasi. Diperoleh geopolimer dengan kuat tekan tertinggi pada penambahan abu sekam padi 3 g yakni sebesar 35,43 MPa dengan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 2,56.

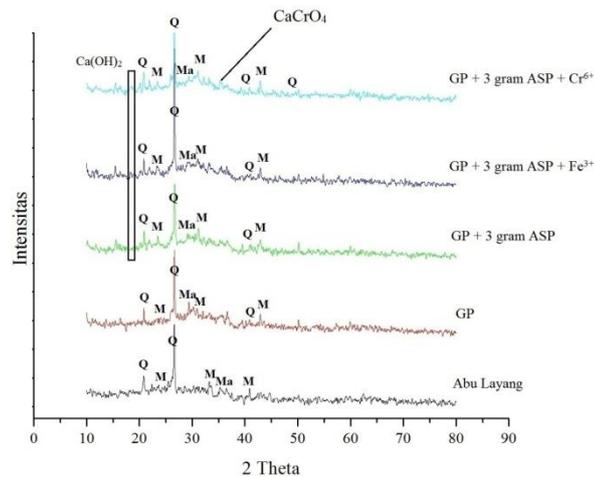
Penambahan kation Fe^{3+} dalam geopolimer akan menyebabkan terbentuknya endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang ditunjukkan pada persamaan 1-4 dan larutan NaOH terionisasi menjadi Na^+ dan OH^- , dimana kedua ion tersebut bereaksi dengan kation logam dalam senyawa $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$.



Kuat tekan geopolimer juga dipengaruhi oleh mekanisme enkapsulasi dari Fe^{3+} pada rongga geopolimer. Kation Fe^{3+} yang terenkapsulasi dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer dimana kation Fe^{3+} akan mengisi rongga yang ada pada geopolimer, sehingga dapat meningkatkan densitas dan mengurangi porositas geopolimer. Dapat dikatakan bahwa densifikasi dapat meningkatkan kuat tekan geopolimer (Jaarsveld & Deventer, 1999). Penambahan ion logam berat diatas 60 mmol menyebabkan turunnya kuat tekan geopolimer yang dihasilkan. Sisa ion logam Fe^{3+} dapat berikatan dengan struktur geopolimer dan menyebabkan penurunan kuat tekan, meskipun tidak mempengaruhi struktur dasar terahedral Si dan Al (Jaarsveld & Deventer, 1999). Penurunan kuat tekan dapat pula disebabkan oleh adanya anion NO_3^- yang berasal dari senyawa $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ yang ditambahkan. Menurut Lee & Deventer (2002), NO_3^- dapat menghambat proses pembentukan geopolimer, karena mengurangi kelarutan Si dan Al pada geopolimerisasi sehingga membentuk geopolimer dengan sifat kimia dan kuat tekan yang rendah.

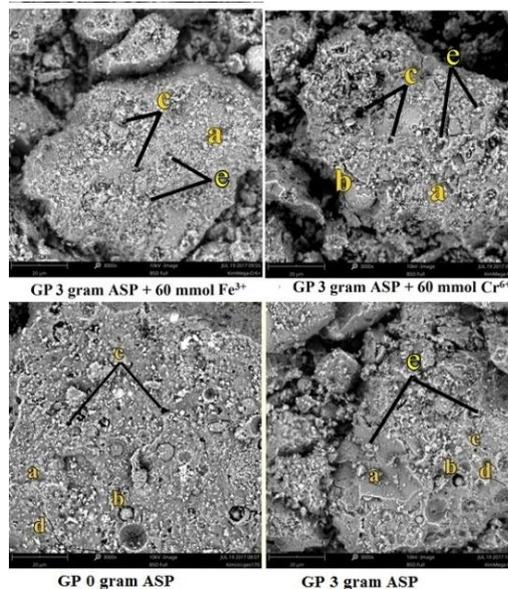
Pada penambahan larutan ion logam Cr^{6+} 20-60 mmol kuat tekan mengalami kenaikan mulai dari 35,43 MPa pada geopolimer tanpa penambahan ion logam menjadi 35,33, 35,72 dan 36,14 MPa. Pada penambahan larutan ion logam 80 dan 100 mmol kuat tekan geopolimer terus mengalami penurunan dari 30,82 MPa sampai 20,74 MPa. Sama halnya dengan penambahan ion logam Fe^{3+} , ion logam Cr^{6+} akan mengisi rongga yang terbentuk saat proses geopolimerisasi. Pada penambahan kation ion logam Cr^{6+} 60 mmol geopolimer memiliki kuat tekan optimum yaitu sebesar 36,14 MPa. Hal ini terjadi apabila rasio antara rongga yang terbentuk sebanding dengan jumlah Cr^{6+} yang terenkapsulasi, sehingga struktur geopolimer yang terbentuk akan lebih padat sehingga menghasilkan geopolimer dengan kuat tekan yang tinggi. menurut Zhang (2008) kation Cr^{6+} yang ditambahkan dalam bentuk ion CrO_4^{2-} akan didistribusikan keseluruh struktur geopolimer terutama pada bagian berongga dan hanya sedikit yang dapat terikat secara kimiawi.

Pada hasil analisis fasa mineral geopolimer dengan penambahan ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} terlihat adanya perbedaan dengan difraktogram abu layang yaitu adanya pergeseran gundukan (*hump*) pada $2\theta = 13-37^\circ$ pada abu layang menjadi sekitar $2\theta = 15-40^\circ$ pada geopolimer. Pergeseran gundukan ini terjadi karena pembentukan matriks geopolimer berupa fasa *amorf* alumino-silikat yang baru akibat pelarutan fasa *amorf* abu layang dalam larutan alkali. Adanya puncak yang semakin melebar dan intensitas *background* menunjukkan adanya struktur yang lebih tidak teratur atau *amorf* (Kakali *et al.*, 2001). Pada data hasil XRD masih terlihat adanya puncak tajam yang menunjukkan adanya fasa kristalin, ini menunjukkan bahwa masih adanya sisa reaktan yang tidak larut dan masih tersisa pada geopolimer.



Gambar 3. Difraktogram abu layang, geopolimer 0 gram abu sekam, geopolimer 3 g abu sekam, geopolimer penambahan ion logam Fe³⁺, geopolimer penambahan ion logam Cr⁶⁺ (Q=quartz, M=Mullite, Ma= Magnetite)

Hasil karakterisasi morfologi geopolimer dengan penambahan ion logam disajikan pada Gambar 4.

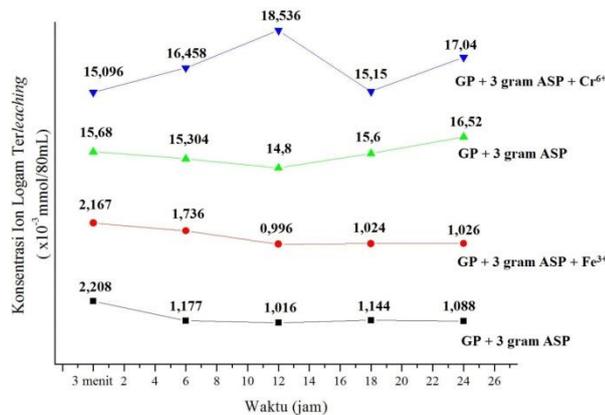


Gambar 4. Mikrograf SEM geopolimer tanpa abu sekam padi, geopolimer dengan 3 g abu sekam padi, penambahan 60 mmol Fe³⁺ dan Cr⁶⁺ perbesaran 3000 kali, a. matriks geopolimer, b. Abu layang yang tidak bereaksi, c. pori dan d. retakan (*microcrack*) e. ASP

Pada Gambar 4 terlihat struktur mikro yang menunjukkan adanya sedikit struktur butiran (*grain*) namun secara keseluruhan terlihat struktur yang homogen dan padat. Semakin homogen dan padat matriks pada geopolimer menyebabkan kekuatannya mencapai optimum, yaitu 37,22 MPa. Namun masih tampak adanya pori dan butiran abu layang yang tidak bereaksi. Pori muncul sebagai akibat dari masuknya gelembung udara pada saat pencampuran bahan awal. Sejumlah butiran abu layang tidak bereaksi pada jumlah yang dapat ditoleransi juga dapat bertindak sebagai bahan pengisi (*filler*) pada matriks geopolimer (Komnitsas & Zaharaki, 2007).

Berdasarkan pada hasil uji *leaching* geopolimer tanpa penambahan ion logam Fe³⁺ (GP+3 g ASP) pada saat *leaching* di 3 menit awal memiliki konsentrasi ion logam Fe³⁺ *terleaching* lebih tinggi yaitu $2,20 \times 10^{-3}$ mmol/80mL dari pada konsentrasi ion logam *terleaching* pada geopolimer dengan penambahan ion logam Fe³⁺ (GP+3 g ASP+Fe³⁺). Hal ini menunjukkan bahwa pada geopolimer tanpa penambahan

ion logam (GP+3 g ASP) terdapat ion logam Fe^{3+} dalam bentuk oksida (Fe_2O_3) yang larut dalam larutan asam nitrat yang digunakan sebagai larutan *leaching*.



Gambar 5. Grafik hasil analisis konsentrasi ion logam Fe^{3+} dan Cr^{6+} yang *terleaching*

Penurunan konsentrasi ion logam yang *terleaching* pada jam ke-12 dan ke-18 dapat disebabkan oleh ion logam Fe^{3+} yang berada di dalam matriks geopolimer terikat kuat, sehingga sulit untuk *terleaching* dalam larutan asam nitrat pH 1. Namun pada jam ke-18 dan ke-24 kembali terjadi kenaikan konsentrasi ion logam yang *terleaching* menjadi $1,02 \times 10^{-3}$ dan $1,03 \times 10^{-3}$ mmol/80mL. Kenaikan konsentrasi ion logam yang *terleaching* pada jam terakhir proses uji *leaching* dapat terjadi karena waktu perendaman geopolimer yang cukup lama di dalam larutan asam nitrat. Hal ini dapat menyebabkan matriks geopolimer yang pada awalnya padat menjadi rapuh, sehingga ion logam yang terikat ataupun terenkapsulasi di dalam matriks geopolimer akan semakin mudah untuk *terleaching*.

Geopolimer dengan penambahan larutan ion logam Cr^{6+} (GP+3 g ASP+ Cr^{6+}) pada *leaching* di jam ke-6 dan ke-12, konsentrasi ion logam Cr^{6+} yang *terleaching* terus mengalami kenaikan sebesar $16,46 \times 10^{-3}$ dan $18,56 \times 10^{-3}$ mmol/80mL. Hal ini menunjukkan bahwa ion logam Cr^{6+} tidak terikat kuat pada matriks geopolimer, sehingga terus *terleaching* saat direndam dengan larutan asam nitrat selama 12 jam proses uji *leaching*. Namun, pada jam ke-18 immobilisasi geopolimer dengan penambahan ion logam Cr^{6+} (GP+3 g ASP+ Cr^{6+}) konsentrasi ion logam yang *terleaching* menurun menjadi $15,15 \times 10^{-3}$ mmol/80mL. Penurunan ini tidak dapat dikatakan efektif karena konsentrasinya lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi pada awal proses *leaching* (3 menit) yang dianggap sebagai keadaan awal. Pada jam ke-24 konsentrasi ion logam Cr^{6+} yang *terleaching* kembali mengalami kenaikan menjadi $17,04 \times 10^{-3}$ mmol/80mL.

Berdasarkan pada hasil yang diperoleh konsentrasi ion logam Fe^{3+} yang *terleaching* lebih sedikit dibandingkan dengan konsentrasi ion logam Cr^{6+} . Hal ini menunjukkan bahwa immobilisasi ion logam Cr^{6+} pada matriks geopolimer kurang efektif apabila dibandingkan dengan ion logam Fe^{3+} , karena ion logam Cr^{6+} tidak dapat terimmobilisasi pada geopolimer. Dalam hal ini ion logam Fe^{3+} dapat berikatan membentuk senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Persamaan 4) yang memiliki hasil kali kelarutan begitu kecil ($3,8 \times 10^{-38}$), sehingga dapat terjadi pengendapan sempurna, ataupun terenkapsulasi pada matriks geopolimer (Tampubolon *et al.*, 2015). Ion logam Cr^{6+} dalam bentuk ion CrO_4^{2-} akan didistribusikan keseluruh struktur geopolimer terutama pada bagian berongga dan hanya sebagian yang terikat secara kimiawi, sehingga dapat dengan mudah *terleaching* saat direndam dengan asam nitrat pH 1 selama 24 jam (Zhang *et al.*, 2008).

Simpulan

Semakin banyak abu sekam padi yang ditambahkan maka kuat tekan geopolimer akan meningkat sampai pada titik optimumnya. Semakin besar konsentrasi (mmol) larutan ion logam $\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{6+}$ yang ditambahkan maka kuat tekan geopolimer yang dihasilkan akan meningkat sampai pada titik optimumnya. Kuat tekan optimum diperoleh dari geopolimer dengan penambahan larutan ion logam Fe^{3+} dan larutan ion logam Cr^{6+} dengan konsentrasi 60 mmol secara berturut-turut 37,22 dan 36,14 MPa, Ion logam Fe^{3+} dapat diimmobilisasi lebih baik pada geopolimer dibandingkan dengan ion logam Cr^{6+} . Ion logam Fe^{3+} akan terikat kuat dalam rongga-rongga yang terbentuk pada proses geopolimerisasi maupun berikatan dengan OH^- membentuk senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Semakin lama waktu pengambilan sampel pada geopolimer dengan penambahan ion logam Fe^{3+} konsentrasi ion logam yang *terleaching* akan semakin besar, sama halnya pada geopolimer dengan penambahan ion logam Cr^{6+} .

Daftar Pustaka

- Adamiec, P., Benezet, J. C., & Benhassaine, A. 2008. Pozzolanic Reactivity of Silico-aluminous Fly Ash. *Particuology*, 6: 93-98
- Anwar, S., & Kusumastuti, E. 2016. Pemanfaatan Serat Batang Pohon Pisang dalam sintesis Geopolimer Abu Layang Batu Bara. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(1): 12-18
- Chindaprasirt, P.C., Jaturatipakkul, W., Chalee, U., Rattanasak. 2009. Comparative Study on the Characteristics of Fly Ash and Bottom Ash Geopolymers. *Waste Manage*, 29: 539-543
- Davidovits, J. 1991. Geopolymer : Inorganic Polymeric New Materials. *Journal of Thermal Analysis*, 3: 1633-1656
- Duxson, P., Provis, J.L., Lukey, G.C., Mallicoat, S.W., Kriven, W.M., & Van Deventer, J.S. 2005. Understanding the Relationship Between Geopolymer Composition, Microstructure and Mechanical Properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 269(1): 47-58
- Faridah, A.M., Widiastuti, N., & Prasetyoko, D. 2012. *Karakterisasi Abu Dasar PLTU Paiton: Pengaruh Perlakuan Magnet, HCl, dan Fusi dengan NaOH*. Prosiding Seminar Nasional Kimia
- Fansuri, H., Fatmawati, A.N.I.F., Utomo, W.P., Supriadi, W.A.R.I.H., & Bayuaji, R.I.D.H.O. 2016. Cd²⁺ and Cr³⁺ Cation Immobilization by Using Geopolymer Based on PT. IPMOMI Fly Ash. *In Materials Science Forum*, 841: 186-192
- Hakim, Y., & Kusumastuti, E. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer dengan Penambahan Serat Eceng Gondok dan Serbuk Aluminium. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(3): 226-233
- He, J., Jie, Y., Zhang, J., Yu, Y., & Zhang, G. 2013. Synthesis and Characterization of Red Mud and Rice Husk Ash-Based Geopolymer Composites. *Cement and Concrete Composites*, 37: 108-118
- Hwang, C.L., & Huynh, T.P. 2015. Effect of Alkali-activator and Rice Husk Ash Content on Strength Development of Fly Ash and Residual Rice Husk Ash-Based Geopolymers. *Construction and Building Material*, 101: 1-9
- Kong, D.L., & Sanjayan, J.G. 2010. Effect of Elevated Temperatures on Geopolymer Paste, Mortar and Concrete. *Cement and Concrete Research*, 40(2): 334-339
- Komnitsas, K., Zaharaki, D., & Bartzas, G. 2013. Effect of Sulphate and Nitrate Anions on Heavy Metal Immobilisation in Ferronickel Slag Geopolymers. *Applied Clay Science*, 73: 103
- Kusumastuti, E., 2009. Geopolimer Abu Layang Batubara: Studi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ dan Sifat-Sifat Geopolimer yang dihasilkan. *Thesis*. Surabaya: Program Magister FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Prasetya, A.T., & Jumaeri, J. 2017. Pemanfaatan Abu Daun Bambu Teraktivasi untuk Adsorpsi Cd(II) dan Diimobilisasi dalam Paving. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(3): 184-188
- Putranto, V.H., E. Kusumastuti., Jumaeri. 2015. Pemanfaatan Zeolit dari Abu Sekam Padi dengan Aktivasi Asam dengan Penurunan Kesadahan Air. *Jurnal MIPA*, 38 (2): 164-173
- Ogundiran, M.B., Nugteren, H.W., & Witkamp, G.J. 2013. Immobilisation of Lead Smelting Slag Within Spent Aluminate Fly Ash Based Geopolymers. *Journal of Hazardous Materials*, 248-249: 29-36
- Sari, K.P., A.T. Prasetya, & N. Widiarti. 2016. Imobilisasi Zat Warna dalam Serat Daun Nanas sebagai Campuran Pembuatan Kertas. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2): 23-30
- Suprpto, S., & Prasetyoko, D. 2016. Pengaruh Suhu Fusi terhadap Pembentukan Zeolit A dari Abu Layang Batubara Paiton: Kapasitas Penukar Kation (Ca²⁺). *Akta Kimia Indonesia*, 1(1): 42-51
- Syukur, M., & Kusumastuti, E. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Foamy Geopolimer Berbahan Dasar Abu Layang Batubara. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(3): 12-26
- Tampubolon, F.F., Purwanti, E., & Fansuri, H. 2015. Pengaruh Amobilisasi Kation Cu dan Pb terhadap Kuat Tekan dan Ketahanan Asam pada Geopolimer Abu Layang. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2): 147-152

- Van Jaarsveld, J.G.S., Van Deventer, J.S.J., & Lorenzen, L. 1998. Factors Affecting the Immobilization of Metals in Geopolymerized Flyash. *Metallurgical And Materials Transactions B*, 29(1): 283-291
- Zhang, J., Provis, J.L., Feng, D., Jannie, S.J., Van Deventer. 2008. Geopolymers for Immobilization of Cr^{6+} , Cd^{2+} , and Pb^{2+} . Departmen of Chemical Engginering. The University of Melbourne. *Journal of Hazardous Material*, 157: 587-598