

# KARAKTERISASI MINERAL-MINERAL AMPAS UNTUK PEMBUATAN MATERIAL GEOPOLIMER BANGUNAN

## *Characterization of Minerals Tailing for Preparation of Geopolymer Building Material*

MUCHTAR AZIZ

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211  
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373  
e-mail: muchtar@tekmira.esdm.go.id

---

### SARI

Karakterisasi terhadap tiga jenis mineral ampas yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan geopolimer telah dilakukan. Bahan baku yang dikarakterisasi terdiri dari residu bauksit (*red mud*) dan ampas pencucian bauksit (asal Tayan, Kalbar) serta abu layang PLTU (asal Asam-asam, Kalsel). Hasil karakterisasi menunjukkan ketiga jenis mineral ampas mengandung alumina ( $Al_2O_3$ ) dan atau silikat ( $SiO_2$ ) relatif tinggi; ampas pencucian bauksit mengandung 32 %  $Al_2O_3$  dan 40 %  $SiO_2$ , residu bauksit 25 %  $Al_2O_3$  dan 3 %  $SiO_2$ , serta abu layang 10 %  $Al_2O_3$  dan 42 %  $SiO_2$ . Alumina dan silika merupakan komponen utama pembentuk material (aluminosilikat) geopolimer. Abu layang mengandung 10 % alumina reaktif dan 42 % silika reaktif dan ampas pencucian bauksit mengandung sekitar 8 % silika reaktif. Alumina reaktif dan silika reaktif berpotensi membantu mempercepat pembentukan material geopolimer. Ampas pencucian bauksit mengandung fraksi kasar (-12 + 60 mesh) sekitar 69 %, berpotensi sebagai grog. Residu bauksit dan abu layang berukuran butir halus (residu bauksit 80 % -200 mesh, abu layang -200 mesh), berpotensi sebagai pengisi rongga di antara grog sehingga menghasilkan produk berkekuatan tekan yang baik. Kandungan 6,35 %  $Na_2O$  residu bauksit membantu mengurangi pemakaian larutan alkali sehingga mengurangi ongkos pembuatan bahan geopolimer. Hasil pemeriksaan toksisitas dan radioaktifitas menunjukkan residu bauksit, ampas pencucian bauksit dan abu layang aman dari sifat toksik dan radioaktifitas. Hasil karakterisasi secara keseluruhan menunjukkan bahwa secara teknis residu bauksit, ampas pencucian bauksit dan abu layang PLTU berpotensi menghasilkan material geopolimer yang memenuhi persyaratan untuk bangunan khususnya untuk bata dan mortar.

Kata kunci : karakterisasi, residu bauksit, ampas pencucian bauksit, abu layang, material geopolimer

### ABSTRACT

*Characterization of three kinds of minerals tailing that were used as raw materials for composing geopolymer material has been carried out. The raw materials have been characterized consisting of bauxite residue (red mud) and bauxite washing tailing (originated from Tayan, West Kalimantan), and fly ash (originated from Asam-asam, South Kalimantan). Results of characterization shows that all of three kinds of minerals tailing contain high alumina ( $Al_2O_3$ ) and/or silicate ( $SiO_2$ ); bauxite washing tailing contains 32 %  $Al_2O_3$  and 40 %  $SiO_2$ , bauxite residue 25 %  $Al_2O_3$  and 3 %  $SiO_2$ , and fly ash 10 %  $Al_2O_3$  and 42 %  $SiO_2$ . Alumina and silicate are the main components in forming (aluminosilicate) geopolymer material. Fly ash contains 10 % of reactive alumina and 42 % of reactive quartz; and bauxite washing tailing contains about 8 % of reactive quartz. Alumina and reactive quartz have potency to faster in forming geopolymer material. Tailing from bauxite washing contains coarse grains (-12 + 60 mesh) of about 69 %, it has potency as grog. Bauxite residue and fly ash have fine grain size (bauxite residue 80 % of minus 200 mesh, fly ash minus 200 mesh), they have potency as filler of inter grog cavity to create a good compressive strength. The content of 6,35 %  $Na_2O$  in bauxite residu will*

*reduce alkali consumption so it can reduce cost of preparing geopolymer material. Toxicity and radioactivity tests show that all kinds of minerals tailing are free from toxic and radioactive constituents. In general all kind of minerals tailing technically has potency to yield geopolymer material for building especially for brick and mortar.*

*Keywords : characterization, bauxite residue, bauxite washing tailing, fly ash, geopolymer material*

## PENDAHULUAN

Dalam rangka pembuatan bahan geopolimer melalui pemanfaatan mineral-mineral ampas (*tailing minerals*) perlu terlebih dahulu dilakukan karakterisasi dari mineral-mineral ampas tersebut. Mineral-mineral ampas yang akan digunakan terdiri dari tiga jenis yaitu residu bauksit (*red mud*), ampas pencucian bauksit serta abu layang PLTU (*fly ash*). Residu bauksit dan ampas pencucian bauksit merupakan limbah yang akan dikeluarkan oleh pabrik pemrosesan bauksit (pabrik alumina) yang saat ini sedang dibangun di Kalimantan Barat berkapasitas 300 ribu ton alumina per tahun. Pabrik tersebut diperkirakan akan mengeluarkan ampas berupa residu bauksit (*red mud*) sebanyak 300 sampai 350 ribu ton per tahun, serta ampas dari pencucian bauksit sekitar 200 ribu ton per tahun. Kebutuhan energi pabrik alumina tersebut akan dipasok dari PLTU-batubara yang juga akan dibangun. PLTU-batubara akan mengeluarkan sisa pembakaran batubara berupa abu layang dan abu tinggal (*bottom ash*). Abu layang PLTU dalam pembuatan bahan geopolimer ini diambil dari PLTU Asam-asam Kalimantan Selatan yang saat ini telah beroperasi.

Residu bauksit, ampas pencucian bauksit dan abu layang PLTU merupakan bahan-bahan yang mengandung mineral dan atau material aluminosilikat. Mineral dan material aluminosilikat merupakan bahan dasar pembentuk struktur material geopolimer (alkali aluminosilikat). Material geopolimer didefinisikan sebagai suatu material yang dihasilkan dari proses geosintesis dari partikel aluminosilikat polimer dan alkali silikat sehingga menghasilkan struktur amorf-semikristal tiga dimensi antara  $\text{SiO}_4$  dan tetrahedral  $\text{AlO}_4$  (Davidovits, 1994). Material geopolimer dan campuran semen geopolimer memiliki ketahanan terhadap asam dan suhu tinggi, sebagai pelapis yang baik untuk keramik dan logam, serta material yang kuat untuk konstruksi bangunan. Kekuatan material geopolimer dapat dilihat pada konstruksi piramida dan sphinx di Mesir. Dengan bahan campuran yang tepat, disengaja atau tidak, campuran material yang membentuk konstruksi piramida dan sphinx tersebut menjadi material geopolimer yang kuat bertahan sampai ribuan tahun.

Makalah ini memuat hasil karakterisasi residu bauksit, ampas pencucian bauksit dan abu layang PLTU serta evaluasinya yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan material geopolimer khususnya bata dan plester (mortar), kedua jenis bahan bangunan tersebut kebutuhannya cukup besar di Indonesia terutama untuk perumahan. Karakterisasi meliputi komposisi kimia, mineralogi (XRD), analisis ayak, struktur mikro (SEM), toksisitas TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), dan radioaktifitas.

Karakterisasi ini bertujuan agar masing-masing dari ketiga jenis bahan baku yang akan digunakan dapat diketahui karakteristiknya serta dievaluasi untuk diarahkan fungsinya agar menghasilkan produk yang memenuhi syarat.

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian berkaitan dengan pembentukan material geopolimer, diantaranya Cheng dan Chiu (2003) telah melakukan pembuatan material geopolimer dari campuran terak tanur tiup dan metakaolinit dengan penambahan sodium silikat. Kuat tekan paling tinggi dapat mencapai 79 MPa (814 kg/cm<sup>2</sup>). Secara umum dinyatakan bila perbandingan mol  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  pada interval 3,16-3,46 maka material geopolimer mempunyai kuat tekan yang lebih baik, namun bila meningkat sampai 3,85 kuat tekan menurun. Lee dkk. (2007) telah melakukan penelitian dengan melarutkan mineral aluminosilikat yaitu kaolin dalam larutan alkali dengan atau tanpa tambahan silika terlarut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tambahan silika terlarut sebanyak 0,5 M sangat berpengaruh terhadap pembentukan struktur geopolimer. Tanpa penambahan silikat terlarut atau alkalinitas larutannya rendah, struktur geopolimer tidak akan terbentuk. Aaron (2010) telah meneliti hubungan rasio Si:Al terhadap mikrostruktur dan sifat mekanis beton yang terbuat dari terak peleburan dan agregat batu kapur. Aaron menggunakan pereaksi pelet NaOH,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , NaCl dan sodium silikat untuk penambahan silika terlarut dan kemudian campuran beton di-curing. Hasil analisis XRD menunjukkan terbentuknya fasa C-S-H gel seperti yang umum ditemukan pada semen Portland. Hasil

uji kuat tekan menunjukkan beton memiliki kuat tekan 35-65 MPa (360-670 kg/cm<sup>2</sup>).

Pengujian toksisitas dan radioaktifitas terhadap suatu material (apalagi material ampas) diperlukan untuk mempertimbangkan aspek keselamatan dari bahan beracun atau unsur radioaktif yang mungkin terkandung. Di antara unsur logam (*trace metals*) yang mungkin terkandung dalam residu bauksit, seperti pada residu bauksit Ajka, Hungaria adalah Cu, Cr, Fe, Ni, Cd dan Pb, namun selama ini unsur-unsur tersebut belum pernah dilaporkan melebihi ambang batas yang aman untuk lingkungan (Ruyters dkk., 2011).

Unsur-unsur radioaktif yang mungkin terkandung dalam residu bauksit, seperti pada residu bauksit yang dihasilkan pada industri alumina ETI Seydişehir Aluminum Plant-Turki, mengandung unsur Ra226, U238, Th232 dan K40 dengan konsentrasi bervariasi antara 112-539 Bq/kg. Komisi proteksi radioaktivitas Uni Eropa membatasi konsentrasi Th232 1000 Bq/kg. Nilai ambang batas radioaktivitas (I) untuk material bangunan di Uni Eropa dihitung melalui persamaan :  $I = CRa/185 + CTh/259 + CK/4810$ . Apabila material bangunan jaraknya dekat dengan pekerja, maka nilai I tidak boleh melebihi 1, apabila jaraknya jauh seperti pada atap bangunan maka nilai I tidak boleh melebihi 6 (Akinci dkk., 2007).

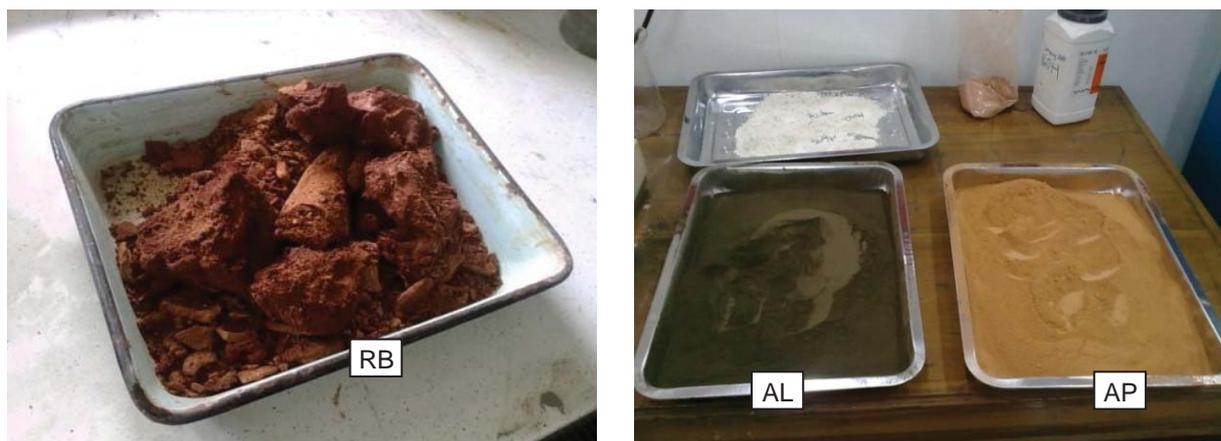
## METODOLOGI

Pengambilan percontoh bijih bauksit dan abu layang (AL) PLTU dilakukan di Asam-asam. Bijih bauksit dicuci di *pilot plant* pencucian bauksit di Sentra Pengembangan Pilot Plant Cipatat, Kab.Bandung Barat menghasilkan bauksit tercuci dan ampas pencucian bauksit (AP). Bauksit tercuci dipreparasi dan diproses (*digesting* dengan proses Bayer pada tekanan 4 atm, suhu sekitar 150°C) menghasilkan larutan sodium aluminat dan residu bauksit (RB). Residu bauksit, ampas pencucian bauksit, dan abu layang dipreparasi untuk dianalisis kimia, analisis ayak, mineralogi (XRD), struktur mikro (SEM), toksisitas TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), dan radioaktifitas. Hasil karakterisasi dievaluasi dengan mengacu pada aspek-aspek teknis material geopolimer. Foto perontoh bahan baku yang dikarakterisasi ditunjukkan pada Gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Residu Bauksit (RB)

Hasil analisis kimia residu bauksit ditunjukkan pada Tabel 1. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang terkandung dalam residu bauksit relatif tinggi (25,4 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), merupakan hasil rata-rata pada kondisi proses Bayer yang diterapkan dengan persen ekstraksi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sekitar 77



Gambar 1. Percontoh bahan baku yang dikarakterisasi; (RB) Residu bauksit, (AL) Abu Layang, (AP) Ampas pencucian bauksit

%; namun silikatnya (SiO<sub>2</sub>) rendah. Sebagaimana telah dikemukakan, alumina dan silikat merupakan komponen utama pembentuk geopolimer. Kandungan alumina residu bauksit mendukung pembentukan material geopolimer. Mineral besi bukan komponen utama pembentuk geopolimer, sehingga jika mineral besi kandungannya tinggi bisa dipisahkan untuk dimanfaatkan sebagai konsentrat besi. Mineral besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dalam residu bauksit tampak cukup tinggi (34,3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sehingga perlu dipisahkan dahulu dengan *magnetic separator* (pemisahan ini relatif mudah). Pemisahan mineral besi bertujuan meningkatkan kandungan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan silikat (SiO<sub>2</sub>) sebagai komponen utama pembentuk material geopolimer (alkali aluminosilikat) serta memperoleh konsentrat besi sebagai produk samping (*by product*). Karakteristik ini nampak berbeda dengan residu bauksit asal Cina dengan kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8-9 %, namun mengandung SiO<sub>2</sub> dan CaO yang tinggi yaitu 16-20 % SiO<sub>2</sub> dan 36,4 % CaO (Yang dan Xiao., 2008).

Tabel 1. Komposisi kimia residu bauksit (RB)

Komponen	%
SiO <sub>2</sub>	3,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,3
K <sub>2</sub> O	0,19
Na <sub>2</sub> O	6,35
CaO	4,64
MgO	0,40
TiO <sub>2</sub>	2,59
LOI	19,04

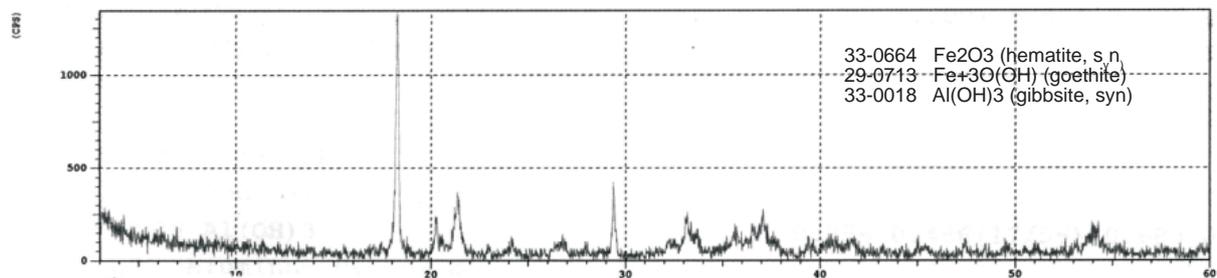
Hasil XRD residu bauksit ditunjukkan pada Gambar 2 nampak adanya 2 jenis mineral besi yaitu hematit dan goetit, dan satu jenis mineral aluminium yaitu gibbsit yang tidak atau belum habis terekstraksi. Mineral besi dari residu bauksit asal Tayan-Kalbar dapat dipisahkan dengan *magnetic separator* (Aziz, 2010) dengan perolehan 20 % dan kadar konsentrat 61,92 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Hasil analisis ayak residu bauksit ditunjukkan pada Gambar 3. Distribusi partikel residu bauksit : sekitar 80 % lolos 200 mesh; 11 % lolos 100 mesh tertahan 200 mesh; dan sisanya 9 % lolos 60 mesh tertahan 100 mesh.

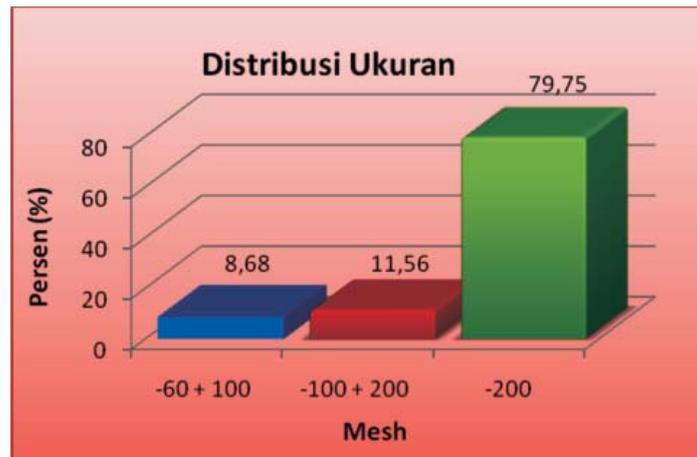
Distribusi partikel menunjukkan bahwa residu bauksit berukuran partikel halus sampai sangat halus. Oleh karena itu, untuk pembuatan bata dan plester diperlukan bahan pencampur yang berbutir kasar yang berfungsi sebagai grog. Bahan baku yang berfungsi sebagai grog direncanakan ampas pencucian bauksit dengan mengambil fraksi kasarnya (-12 + 60 mesh). Foto mikro residu bauksit melalui SEM ditunjukkan pada Gambar 4. Nampak tekstur pelat (hematit) berukuran 6 – 12 μm dan granular (gibbsit) berukuran 2 - 6 μm dalam residu bauksit. Di antara tekstur pelat dan granular ada rongga-rongga yang dapat mempermudah penetrasi larutan alkali untuk membentuk struktur aluminosilikat material geopolimer.

**Ampas Pencucian Bauksit (AP)**

Komposisi kimia fraksi -12 + 60 mesh ampas pencucian bauksit ditunjukkan pada Tabel 2. Kandungan silika reaktif 7,6 %, dengan sifat reaktifnya dapat membantu pembentukan struktur geopolimer. Kandungan yang relatif tinggi SiO<sub>2</sub> total (40,20



Gambar 2. Hasil XRD sampel residu bauksit (RB)



Gambar 3. Distribusi ukuran partikel residu bauksit (RB)



Gambar 4. Foto mikro residu bauksit (RB), menunjukkan tekstur pelat (hematit) dan granular (gibsit)

%) dan alumina (32 %) menunjang pembentukan material geopolimer karena komponen utamanya cukup tersedia.

Tabel 2. Komposisi kimia utama fraksi -12 +60 mesh ampas pencucian bauksit (AP)

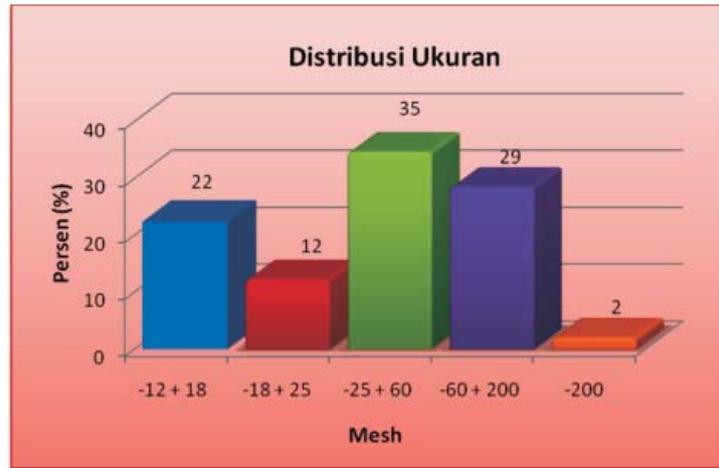
Komponen	%
SiO <sub>2</sub> reaktif	7,60
SiO <sub>2</sub> bebas	32,60
SiO <sub>2</sub> total	40,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,58
TiO <sub>2</sub>	0,78

Hasil analisis ayak sampel ampas pencucian bauksit ditunjukkan pada Gambar 5. Ampas pencucian bauksit relatif kasar sehingga dapat berfungsi sebagai grog. Distribusi ukuran partikel ampas pencucian bauksit menunjukkan bahwa fraksi halus (-60 mesh) masih cukup banyak yaitu 31 %. Untuk berfungsi sebagai grog fraksi -60 mesh perlu dikeluarkan sehingga yang tersisa hanya butiran relatif kasar (-12 + 60 mesh). Rongga antar grog (*inter grog cavity*) direncanakan akan diisi dengan residu bauksit dan abu layang PLTU dalam interval perbandingan mol SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,16-3,46 pada campuran bahan dengan aditif larutan sodium silikat, sehingga diharapkan akan menghasilkan material geopolimer yang memiliki kuat tekan yang tinggi (Cheng dan Chiu, 2003].

Foto mikro ampas pencucian bauksit melalui SEM ditunjukkan pada Gambar 6. Nampak tekstur granular dan porus pada ampas pencucian bauksit (AP). Sifat porus dapat mempermudah penetrasi larutan alkali sehingga membantu pembentukan material geopolimer.

#### Abu Layang (AL)

Abu layang PLTU Asam-asam berupa tepung halus berwarna abu-abu tua kehitaman. Secara umum komposisi komponen abu layang PLTU di seluruh dunia relatif sama, yang berbeda adalah persentase kandungan senyawa kimianya sesuai dengan jenis batubara yang dipakai (Aziz dan Ardha, 2006). Komponen mineral utama abu layang adalah aluminosilikat, besi oksida, silikat densitas rendah (*cenosphere*) dan sisa karbon, serta kemungkinan adanya mineral *mullite*. Partikel-partikelnya berben-



Gambar 5. Distribusi ukuran partikel ampas pencucian bauksit (AP)



Gambar 6. Tekstur granular dan porus pada ampas pencucian bauksit (AP)

tuk membulat. *Cenosphere* berasal dari senyawa alkali silikat yang telah mengalami pembakaran suhu tinggi, yaitu saat alkali meleleh, posisi alkali digantikan oleh udara, sehingga membentuk partikel bulat dengan lubang di dalamnya (densitas rendah). Abu layang berukuran sangat halus yaitu sekitar 1–75  $\mu\text{m}$ . Sedangkan abu dasar berukuran butiran lebih kasar sekitar 100–300  $\mu\text{m}$ , namun komposisi mineralnya mungkin masih dalam bentuk kuarsa/aluminosilikat. Komposisi kimia abu layang Asam-asam ditunjukkan pada Tabel 3. Kandungan kuarsa relatif tinggi (42 %) sedangkan alumina tidak terlalu tinggi (11 %), dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sekitar 23 %. Sebagai perbandingan abu layang PLTU Suralaya mengandung kuarsa jauh lebih tinggi (73 %  $\text{SiO}_2$ ), namun aluminanya relatif sama yaitu 11 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  jauh lebih rendah yaitu sekitar 6 % (Aziz

dan Ardha,2006). Belum diketahui pengaruh dari kandungan besi oksida terhadap struktur material geopolimer, namun dari perbandingan tersebut terlihat ada korelasi rendahnya kandungan besi dengan tingginya kandungan  $\text{SiO}_2$  atau sebaliknya. Alumina dan  $\text{SiO}_2$  yang dikandung abu layang bersifat reaktif, sehingga berpotensi sebagai komponen pembentuk struktur material geopolimer.

Tabel 3. Komposisi kimia abu terbang (AL) PLTU Asam-asam, Kalimantan Selatan

Komponen	%
$\text{SiO}_2$	42,2
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10,09
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	23,4
$\text{CaO}$	10,8
$\text{MgO}$	9,44
$\text{K}_2\text{O}$	0,55
$\text{Na}_2\text{O}$	0,43
$\text{TiO}_2$	0,82
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,036
$\text{SO}_3$	0,65
LOI	0,97

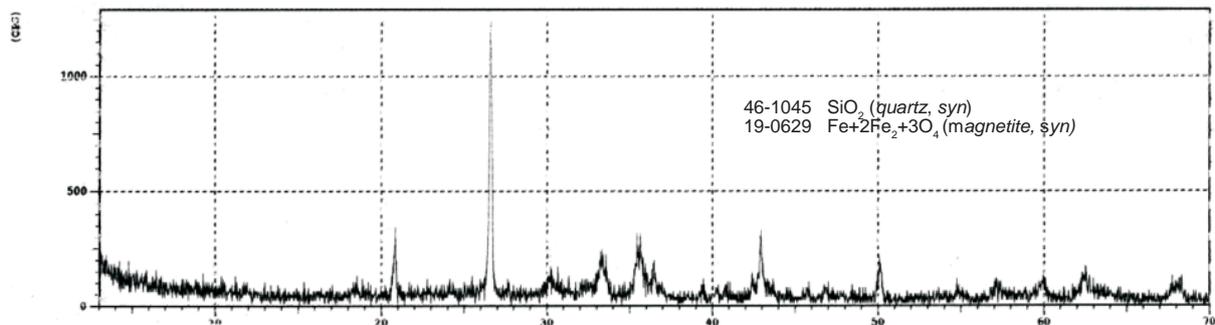
Kandungan logam alkali (11 %  $\text{CaO}$  dan 9 %  $\text{MgO}$ ) mendukung pembentukan ikatan material aluminosilikat. Kandungan mineral besi (23 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) berupa magnetit, jika mungkin dapat dipisahkan dengan *magnetic separator* sepanjang tidak menurunkan kandungan alumina dan  $\text{SiO}_2$

nya. Sebagai pembanding lain adalah abu layang asal Cina memiliki kandungan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang lebih tinggi yaitu 27 % dan kandungan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang lebih rendah yaitu 8,7% , dan  $\text{SiO}_2$  54 % (Yang dan Xiao, 2008). Hasil XRD abu layang Asam-asam ditunjukkan pada Gambar 7. Pada hasil XRD menunjukkan kuarsa dan magnetit pada abu layang. Fasa senyawa mengandung alumina tidak terdeteksi, kemungkinan senyawa amorf.

Foto mikro abu layang dari PLTU Asam-asam Kalimantan Selatan melalui SEM ditunjukkan pada Gambar 8. Nampak jelas tekstur bola-bola (*spheres*) besar dan kecil berukuran 0,25 – 10  $\mu\text{m}$ . Aziz dan Ardha (2006) juga telah melakukan pengujian melalui SEM terhadap abu layang PLTU Suralaya dan menunjukkan tekstur yang mirip yaitu berupa bola-bola besar dan kecil.



Gambar 8. Tekstur bola-bola besar dan kecil pada abu layang Asam-asam



Gambar 7. Hasil XRD abu layang PLTU Asam-asam, Kalimantan Selatan

### Kandungan $\text{SiO}_2$ dan $\text{Al}_2\text{O}_3$

Kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  rata-rata dari campuran bahan baku AP dan AL (berat yang sama) adalah 41 %  $\text{SiO}_2$  dan 21 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Perbandingan mol  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  campuran tersebut adalah 3,3, angka ini berada pada interval 3,16-3,46. Melalui variasi penambahan RB dan aditif larutan sodium silikat campuran kedua bahan baku tersebut berpotensi menghasilkan material geopolimer yang mempunyai kuat tekan yang tinggi.

### Toksistas

Hasil pengujian toksistas TCLP benda uji dari bahan campuran (35% RB, 40% AP dan 25% AL) ditunjukkan pada Tabel 4. Nampak dari hasil pengukuran toksistas bahan campuran masih aman dari sifat toksik.

### Radioaktifitas

Kandungan unsur radioaktif percontoh residu bauksit, abu layang dan ampas pencucian bauksit ditunjukkan pada Tabel 5. Sebagaimana telah diutarakan, komisi proteksi radioaktivitas Uni Eropa telah membuat acuan dalam menilai tingkat keamanan kandungan unsur radioaktif material bangunan melalui persamaan :  $I = \text{CRa}/185 + \text{CTh}/259 + \text{CK}/4810$ . Nilai I adalah fungsi dari unsur Ra, Th dan K. Penilaian yang dilakukan disini mengacu pada komisi proteksi radioaktifitas Uni Eropa. Jika dihitung dengan angka-angka hasil pengujian, nilai I tidak melebihi 1, berarti masih aman dari jarak dekat. Hasil evaluasi menunjukkan bahan-bahan tersebut masih aman dari sifat radioaktif khususnya untuk bahan bangunan.

Tabel 4. Hasil pengujian toksisitas TCLP dalam sludge bahan campuran (RB, AP dan AL)

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	Bakumutu (PP 18/99 jo PP 85/99)
1	Tembaga (Cu)	ppm	0,021	10
2	Timbal (Pb)	ppm	0,150	5
3	Seng (Zn)	ppm	0,043	50
4	Perak (Ag)	ppm	0,015	5
5	Kadmium (Cd)	ppm	0,0002	1
6	Kromium (Cr)	ppm	0,002	5
7	Sianida (CN)	ppm	< 0,001	20
8	Barium (Ba)	ppm	0,087	100
9	Selenium (Se)	ppm	0,0112	1
10	Arsen (As)	ppm	0,0025	5
11	Air Raksa (Hg)	ppm	< 0,06	200
12	Boron (B)	ppm	6,33	500

Tabel 5. Hasil pengujian konsentrasi radioaktifitas residu bauksit, abu layang dan ampas pencucian bauksit.

No.	Radionuklida	Konsentrasi radioaktifitas (Bq/kg)					
		Residu bauksit	Nilai I	Abu layang	Nilai I	Ampas pencucian	Nilai I
1	Timbal-210 (210Pb)	6,90 ± 3,91	0,14	37,09 ± 6,25	0,52	26,66 ± 5,35	0,29
2	Radium-226 (226Ra)	5,17 ± 0,59		40,55 ± 2,77		16,19 ± 1,25	
3	Radium-228 (228Ra)	13,48 ± 0,07		32,41 ± 1,50		22,58 ± 1,08	
4	Thorium-228 (228Th)	8,07 ± 0,64		20,71 ± 1,44		15,02 ± 1,07	
5	Uranium-238 (238U)	< 5,37		19,54 ± 8,81		< 5,37	
6	Potassium-40 (40K)	3,25 ± 1,03		110,7 ± 6,9		6,08 ± 1,25	

**KESIMPULAN**

- Perbandingan mol SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> campuran ampas pencucian bauksit dan abu layang PLTU berada pada interval 3,16-3,46, sedangkan residu bauksit melalui variasi penambahan aditif sodium silikat berpotensi sebagai bahan baku pembuatan material geopolimer bahan bangunan khususnya untuk bata dan mortar,
- Residu bauksit, ampas pencucian bauksit dan abu layang PLTU sebagai bahan baku material geopolimer bahan bangunan telah diuji, aman dari sifat toksik; kandungan Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Cr, CN, Ba, Se, As, Hg, dan Boron (B) masih dibawah batas maksimum angka baku mutu sifat toksik,

- Ketiga bahan baku yang telah dikarakterisasi tersebut juga aman dari sifat radioaktif; nilai I dari konsentrasi radioaktifitas masih jauh dibawah 1, yaitu untuk residu bauksit 0,14, ampas pencucian bauksit 0,29 dan abu layang 0,52.

**DAFTAR PUSTAKA**

Aaron R. S., Anderson, E., Schauer, C.L., and Barsoum, M.W., 2010. Influence of Si:Al ratio on the micro-structural and mechanical properties of a fine-lime-stone aggregate alkali-activated slag concrete. *Rilem Materials and Structures* (2010) 43:1025-1035.

- Akinci, A.,Recep Artir, 2007. *Characterization of trace elements and radionuclides and their risk assessment in red mud*. Elsevier : MTL-06200.
- Aziz M. dan Ngurah A., 2006. Karakterisasi abu terbang PLTU Suralaya dan evaluasinya untuk refraktori cor, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, No.36, Tahun 14, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, ISSN 0854-7890.
- Aziz M., Mutaalim, Rochani S.,Wahyudi A.,Amalia D., 2010. Konsentrasi mineral besi dari residu bauksit Kalimantan Barat untuk bahan baku peleburan besi, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol.6, No.1, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara,ISSN 1979-6560.
- Cheng T.W., Chiu J.P., 2003. Fire-resistance geopolymer produced by granulated blast furnace slag, *Minerals Engineering* 16, 205-210.
- Davidovits, J., 1994. Geopolymers : Man-made rock geosynthesis and the resulting development of very early high strength cement. *Journal of Materials Education*, 16 [2-3]91-137 (1994).
- Lee, W.K.W., J.S.J. van Deventer, 2007. Chemical interaction between siliceous aggregates and low-Ca alkali-activated cements. *Elsevier : Cement and Concrete Research* 37 (2007) 844-855
- Ruyters S., Martens J., Vassilieva E., Dehandschutter B., Poffijn A., Smolder E., 2011. The red mud accident in Ajka (Hungary): Plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil. *Environmental Science & Technology*. 2011 Jan 4. PubMed PMID: 21204523.
- Yang, J., Bo Xiao, 2008. Preparation of glass-ceramics from red mud in the aluminium industries. *Ceramics International* 34 (2008) 125-130.