



Analisis Karakteristik Penetralkan *Fly Ash* Batubara Terhadap Air Asam Dengan Metode *Acid Buffer Characteristic Curve*

Mubdiana Arifin^{*}, Mohammad Salman Said, Firman Nullah Yusuf, Harwan, Citra Aulian Chalik, Sitti Ratmi Nurhawaisyah, Nurliah Jafar, Nur Asmiani, Andi Fahdli Heriansyah, Ansariah, Agus A. Budiman

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Indonesia

**Email: mubdiana.arifin@umi.ac.id*

SARI

Fly ash atau abu terbang batubara yang dihasilkan oleh sisa pembakaran batubara hanya dianggap sebagai limbah B3 dan sangat kurang dari segi pemanfaatan, pada penelitian sebelumnya diketahui bahwa *fly ash* ternyata memiliki sifat alkalinitas yang dapat menetralkan air asam tambang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik penetralkan *fly ash* batubara terhadap air asam. Untuk menganalisis karakteristik penetralkan *fly ash* digunakan metode *Acid Buffer Characteristic Curve* (ABCC), metode ini menggunakan sistem titrasi asam HCl dan H₂SO₄ (0,5 Molar) kedalam sampel dengan jumlah 0,4 ml setiap satu kali titrasi dan titrasi akan terus dilakukan sampai dengan pH 2. Kandungan *fly ash* dominan terdiri dari silika (SiO₂) 40,13%, Alumunium oksida Al₂O₃ 13,71%, Kalsium oksida (CaO) 12,50%, Besi oksida (FeO) 20%. Hasil uji static nilai Acid Neutralizing Capacity dari *fly ash* adalah 337,88 kgH₂SO₄/ton dan nilai NAPP-326 kg H₂SO₄/ton ini mengindikasikan sifat alkalinitas yang tinggi dari *fly ash*. Grafik ABCC menunjukkan karakteristik penetralkan pada *fly ash* kurang maksimal pada pH diatas netral karena kandungan CaO yang tidak terlalu besar sehingga kapasitas buffer pada rentang pH tersebut tidak maksimal berbeda dengan karakteristik penetralkan pada pH dibawah netral (6-3) *fly ash* sangat baik pada range pH tersebut karena kandungan gipsum, magnesium, dan alumunium oksida yang bereaksi pada rentang pH tersebut. Dari hasil pengujian ABCC mendeskripsikan bahwa karakteristik penetralkan pada *fly ash* cukup baik tetapi memiliki kapasitas penyangga (*buffer capacity*) yang kecil pada pH 7-10.

Kata kunci: *Fly Ash*, ABCC, Titrasi, Alkalinitas, Penetralkan

How to Cite: Arifin, M., Said, M.S., Yusuf, F.N., Harwan, Chalik, C.A., Nurhawaisyah, S.R., Jafar, N., Asmiani, N., Heriansyah, A.F., 2021. Analisis Karakteristik Penetralkan *Fly Ash* Batubara Terhadap Air Asam Dengan Metode *Acid Buffer Characteristic Curve*. Jurnal Geomine, 9 (3): 218-228.

Published By:

Fakulta Teknologi Industri
UniversitasMuslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

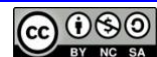
Submite 15 September 2021

Received in from 17 September 2021

Accepted 29 Desember 2021

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](#)



ABSTRACT

Fly ash or coal fly ash produced by coal combustion is only considered as B3 waste and is very lacking in terms of utilization, in previous studies it was known that fly ash has alkalinity properties that can neutralize acid mine water. This study aims to analyze the neutralization characteristics of coal fly ash against acid water. To analyze the neutralization characteristics of fly ash, the Acid Buffer Characteristic Curve (ABCC) method is used, this method uses a titration system of HCl and H₂SO₄ (0.5 Molar) acids into the sample with an amount of 0.4 ml for each titration and the titration will continue until pH 2 The dominant fly ash content consists of silica (SiO₂) 40.13%, Aluminum oxide Al₂O₃) 13.71%, Calcium oxide (CaO) 12.50%, Iron oxide (FeO) 20%. The results of the static test of the Acid Neutralizing Capacity value of fly ash are 337.88 kgH₂SO₄/ton and the NAPP value of -326 kg H₂SO₄/ton indicates the high alkalinity of fly ash. The ABCC graph shows that the thickening characteristics of fly ash are less than optimal at pH above neutral because the CaO content is not too large so that the buffer capacity in the pH range is not maximal, different from the neutralization characteristics at pH below neutral (6-3) fly ash is very good in the pH range. This is due to the content of gypsum, magnesium, and aluminum oxide which react in that pH range. The results of the ABCC test describe that the neutralization characteristics of fly ash are quite good but have a small buffer capacity at pH 7-10.

Keyword: *Fly Ash, ABCC, Titration, Alkalinity, Neutralizing*

PENDAHULUAN

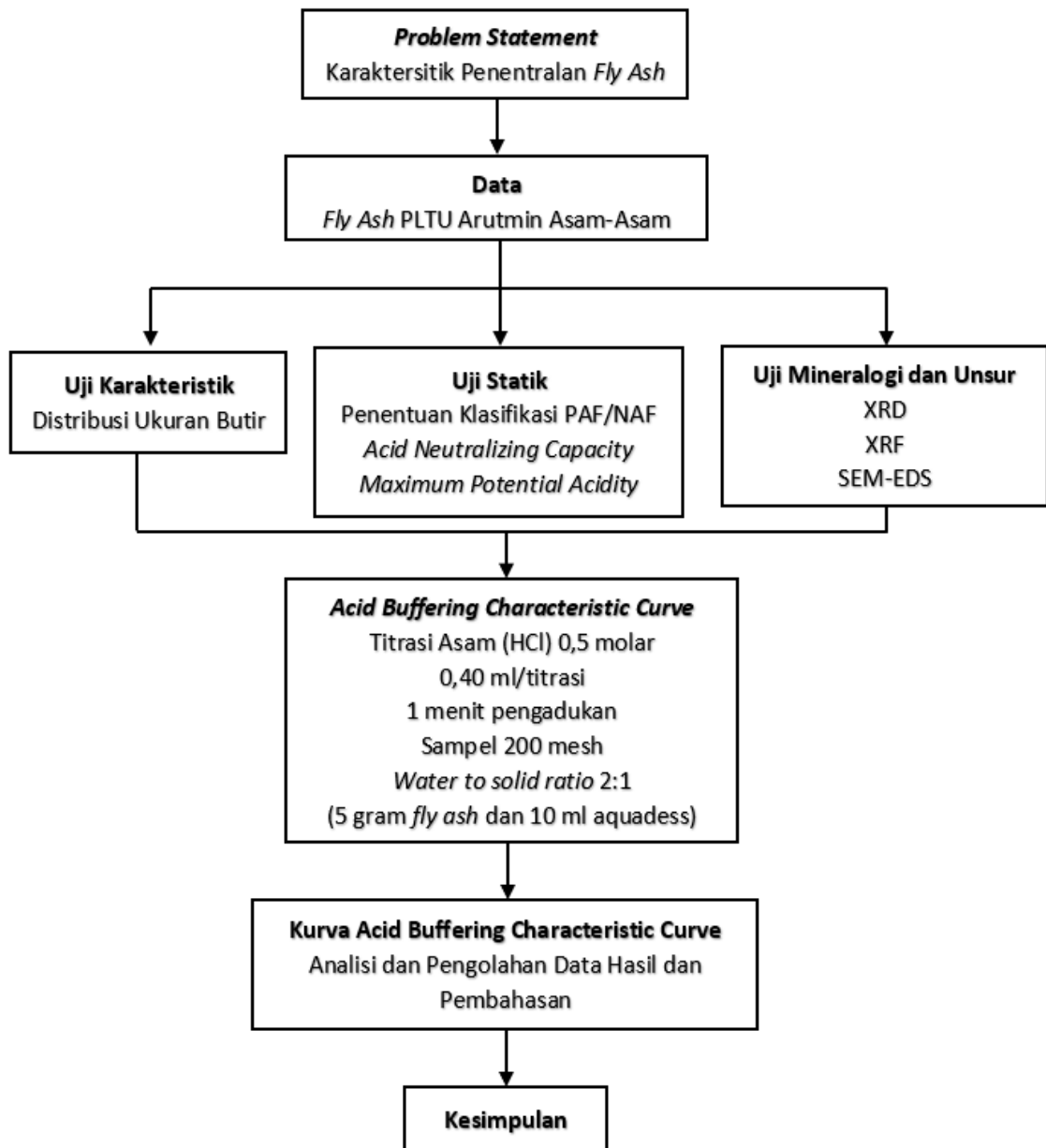
Pemanfaatan batubara menjadi sumber energi dinilai cukup relatif ekonomis hingga saat ini (Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2006), tetapi pemanfaatan batubara ini memiliki potensi serta resiko dalam timbulnya persoalan lingkungan baru disekitar lokasi penambangan maupun PLTU. Proses pembakaran batubara akan menghasilkan produk sampingan berupa residu dalam bentuk gas dan padatan yang disebut dengan abu. Abu pembakaran batubara merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara di dalam *furnace* pada pembangkit listrik PLTU. Abu sisa pembakaran batubara merupakan campuran oksida-oksida logam. Abu batubara terdiri atas abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*), Karakteristik dan kualitas abu batubara (*bottom ash* dan *fly ash*) bergantung pada rancangan sistem pembakaran PLTU dan kualitas batubara yang digunakan sebagai bahan bakar. *Fly ash* adalah residu yang dihasilkan dari pembakaran (batubara) dan terdiri dari partikel-partikel halus dan berpotensi mempunyai kemampuan penetralan (Taylor, 2005). Abu batubara diklasifikasikan menjadi 3 kelas, yaitu kelas C, kelas F dan kelas N. Pengklasifikasian tersebut berdasarkan ASTM C-618. Di Indonesia, produksi *fly ash* dan *bottom ash* meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan peningkatan jumlah PLTU (Harijono, 2006). Abu batubara hasil pembakaran di PLTU mempunyai sifat alkalinitas sehingga diharapkan dapat menetralkan pH air asam (Lestari dkk, 2011). Abu batubara, baik *fly ash* ataupun *bottom ash* mampu menetralkan air asam tambang, termasuk mencegah pembentukannya jika ditempatkan sebagai material *capping* dalam proses enkapsulasi (penudungan) maupun pencampuran. *Fly ash* mampu menetralkan air asam tambang karena mengandung senyawa CaO sekitar 10-20%, kemampuannya menetralkan air asam tambang dari pH 2,5 menjadi 6,5 dengan waktu reaksi hanya 30 menit (Said, 2018). Partikel abu batubara dapat mengurangi pori batuan. *Blending fly ash* memberikan permeabilitas lebih rendah dibandingkan dengan *bottom ash*, karena ukuran butir dari *fly ash* lebih kecil

(Gautama dkk., 2010). Kapasitas penghilang kontaminan dan kapasitas penetral dari *fly ash* sangat bergantung pada kandungan CaO (Gitari, 2010).

Untuk memahami karakteristik bahan penetral air asam maka dapat dilakukan pengujian *Acid Buffer Characteristic Curve* (ABCC). Metode *Acid Buffer Characteristic Curve* (ABCC) melibatkan titrasi lambat sampel dengan asam dan terus mengamati nilai keasaman (pH) pada sampel. Data ini memberikan indikasi berapa porsi dari *acid neutralizing capacity* (ANC) dari bahan *fly ash* yang merupakan ukuran kapasitas *buffering* atau kapasitas penyangga yang dipengaruhi oleh keberadaan mineral-mineral yang mempunyai sifat alkalinitas. Ini ditentukan dengan penambahan sejumlah asam hidrolis standar (HCl, H₂SO₄) kedalam sampel yang ditimbang secara akurat, memungkinkan waktu sampel untuk bereaksi, kemudian campuran dititrasi ulang dengan natrium hidroksida (NaOH) untuk menentukan jumlah HCl yang dikonsumsi oleh reaksi dengan sampel (Amira, 2002). Beberapa penelitian sebelumnya berfokus pada pengaplikasian *fly ash* dengan metode *active treatment* dan *passive treatment* untuk penanganan air asam tambang, akan tetapi belum mampu mendeskripsikan karakteristik penetralan dari material *fly ash*. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik penetralan dari mineral *fly ash* sebagai alternatif bahan penetral air asam tambang dengan metode *acid buffer characteristic curve*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian *fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Asam – asam milik perusahaan PT Arutmin dengan klasifikasi kelas F (ASTM C-618). Tahap pertama penelitian adalah preparasi sampel untuk pengujian sifat fisik, uji statik, uji mineralogi (XRD) dan unsur (XRF, SEM-EDS) untuk mengetahui kandungan unsur/mineral, sifat fisik dan *Acid Neutralizing Capacity*. Setelah selesai tahapan pengujian diatas, maka dilanjutkan ke tahap pengujian *Acid Buffer Characteristic Curve* (ABCC) Pengujian ABCC dikembangkan oleh Miller dan Jeffery (1995) dan melibatkan titrasi sampel yang lambat secara terus menerus dengan terus memonitoring keasaman pada sampel (pH). Hasil ABCC memberikan indikasi tentang bagaimana karakteristik penetralan dari material tertentu yang memiliki kapasitas penetral asam (Stewart and Miller, 2006). Prosedur pengujian ABCC sebagai berikut: (1) Preparasi sampel *fly ash* dengan ukuran butir 0,149 mm (200 mesh) (2) Sampel sebanyak 5 gram dicampurkan kedalam 10 ml aquades (*water to solid ratio* 2:1) dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan putaran 50 rpm kemudian dilakukan pengukuran untuk mengetahui pH awal larutan (3) Pada penelitian ini, digunakan 2 (dua) jenis asam standar yaitu asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H₂SO₄) berdasarkan ketentuan (Amira, 2002) jumlah HCl dan H₂SO₄ yang dititrasi adalah sebanyak 0,4 ml/titrasi hal ini didasari dari jumlah *Acid Neutralizing Capacity* dari *fly ash* yaitu 337,88 Kg H₂SO₄/ton. Pada penelitian ini menggunakan *digital burette titrette* sebagai alat titrasi (4) Setiap titrasi maka sampel akan diaduk dengan durasi waktu 60 detik dan setelah itu dilakukan pengukuran nilai pH, tahapan ini akan terus dilakukan sampai dengan larutan menunjukkan nilai pH 2. Setelah proses pengujian dilakukan maka data akan diolah dan dianalisis untuk mendapatkan kurva titrasi ABCC dari pengujian sampel.

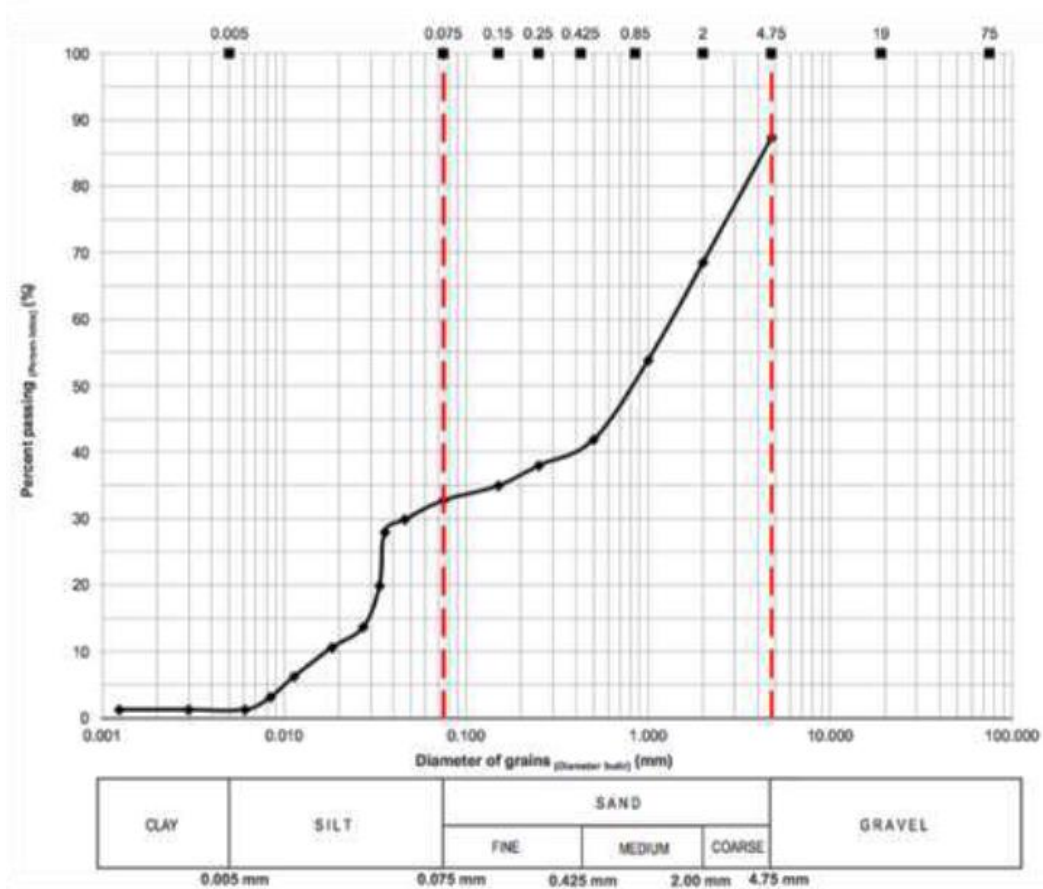


Gambar 1. Metodologi Penelitian

HASIL PENELITIAN

Pengujian Sifat Fisik *Fly Ash*

Karakterisasi fisik dilakukan dengan cara melakukan pengayakan (*sieving*) baik dalam kondisi kering maupun basah untuk mengetahui distribusi ukuran butir. Distribusi ukuran butir ini berhubungan dengan karakterisasi fisik material dan luas permukaan butir yang akan mempengaruhi reaktivitas *fly ash* terhadap sebuah reaksi (Said,2019). Pengayakan (*sieving*) dilakukan pada material *fly ash* dengan berat sampel 200 gram.



Gambar 2. Grafik Distribusi Ukuran Butir

Dari hasil pengujian sifat fisik diketahui komposisi ukuran butir dari material *fly ash* adalah batu (*grave*) sebanyak 31,48%, Pasir (*sand*) 35,81%, Lanau (*silt*) 31,43% dan Lempung (*clay*) 1,28%.

Pengujian Kandungan Mineral (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada *fly ash* karena komposisi mineral yang terkandung pada material *fly ash* sangat mempengaruhi sifat penetralan dan alkalinitasnya. Dari hasil uji XRD menunjukkan bahwa mineral yang paling dominan adalah mineral kuarsa sekitar 52,7%, dan komposisi hematite, alumunium oksida, gipsum dan magnesit berkisar antara 10-13%.

Tabel.1 Komposisi Mineral Pada *Fly Ash*

No	Mineral	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kuarsa	SiO_2	52.70
2.	Hematite	Fe_2O_3	12.80
3.	Alumunium Oksida	Al_2O_3	12.30
4.	Gipsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	12.20
5.	Magnesite	MgCO_3	10.00

Pengujian Kandungan Unsur (*X-Ray Fluorescence*)

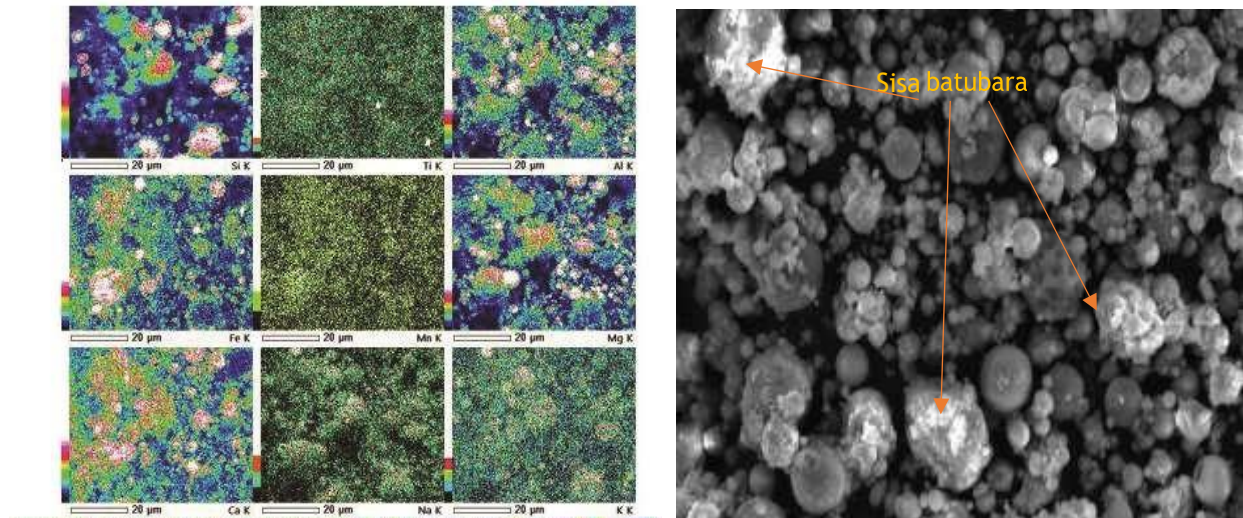
Hasil Uji Unsur XRF (**Tabel 2**) menunjukkan bahwa material *fly ash* terdiri atas dominan (oksida) silika dan besi oksida, terdapat juga Aluminium oksida dan oksida alkali/alkali tanah seperti kalsium, kalium natrium, magnesium. Hasil ini sangat mendukung hasil pengujian kandungan mineral (XRD). Selain itu berdaesrkan hasil uji XRF didapat persentase senyawa CaO sebesar 12,50%. Senyawa tersebut tergolong senyawa alkali yang dapat memberi alkalinitas atau dapat menaikkan niai pH (Yacub dkk, 2021).

Tabel.2 Unsur Pada *Fly Ash*

No	Unsur	Komposisi (%)
1.	SiO ₂	40.13
2.	TiO ₂	0.87
3.	Al ₂ O ₃	13.71
4.	FeO	20.00
5.	MnO	0.60
6.	MgO	9.50
7.	CaO	12.50
8.	Na ₂ O	0.50
9.	K ₂ O	0.50
10.	H ₂ O	0.29
11.	SO ₃	1.50
12.	S	0.60
		100%

Pengujian SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive Spectroscopy*)

Selanjutnya dilakukan pengujian SEM-EDS yang bertujuan untuk mengetahui komposisi dan penyebaran element yang terkandung dalam sampel *fly ash*. Pada gambar hasil uji SEM-EDS *fly ash* (**Gambar.3**) menunjukkan persebaran yang merata pada elemen silikon, aluminium dan oksigen sebagai komponen utama *fly ash*. Pada hasil pengujia terdapat juga oksida besi dan oksida alkali yang terdapat di permukaan oksida silikon-aluminium berupa oksida kalsium dan magnesium serta kehadiran oksida kalium dan natrium dalam jumlah yang lebih kecil. Oksida alkali memiliki kemampuan untuk menetralkan asam (Said, 2018). Gambar 3 menunjukkan morfologi butir *fly ash* yang didominasi oleh bentuk *sub-rounded* dan terlihat adanya sisa batubara yang belum terbakar dengan sempurna.



Gambar.3 Hasil mapping element dan morfologi butir *fly ash* (Uji SEM Perbesaran 1000x)

Pada hasil pengujian terdapat juga oksida besi dan oksida alkali yang terdapat di permukaan oksida silikon-aluminium berupa oksida kalsium dan magnesium serta kehadiran oksida kalium dan natrium dalam jumlah yang lebih kecil. Oksida alkali memiliki kemampuan untuk menetralkan asam (Said, 2018).

Analisis Pengujian Statik

Uji statik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui potensi pembentukan air asam tambang dari sampel batuan (Abfertiawan, 2018). Hasil pengujian statik (tabel 3) pada tahap pH pasta sampel menunjukkan potensi penetralan yang terdapat pada sampel *fly ash*. Kandungan sulfur total didekati dari jumlah sulfur oksida yang dihasilkan (Gautama, 2014). Dari hasil pengujian menunjukkan nilai pH pasta yang tinggi yaitu 9,92. Hal ini mendeskripsikan tingkat reaktivitas sampel *fly ash* terhadap asam, ini disebabkan oleh nilai ANC atau kapasitas penetral asam yang terkandung pada sampel.

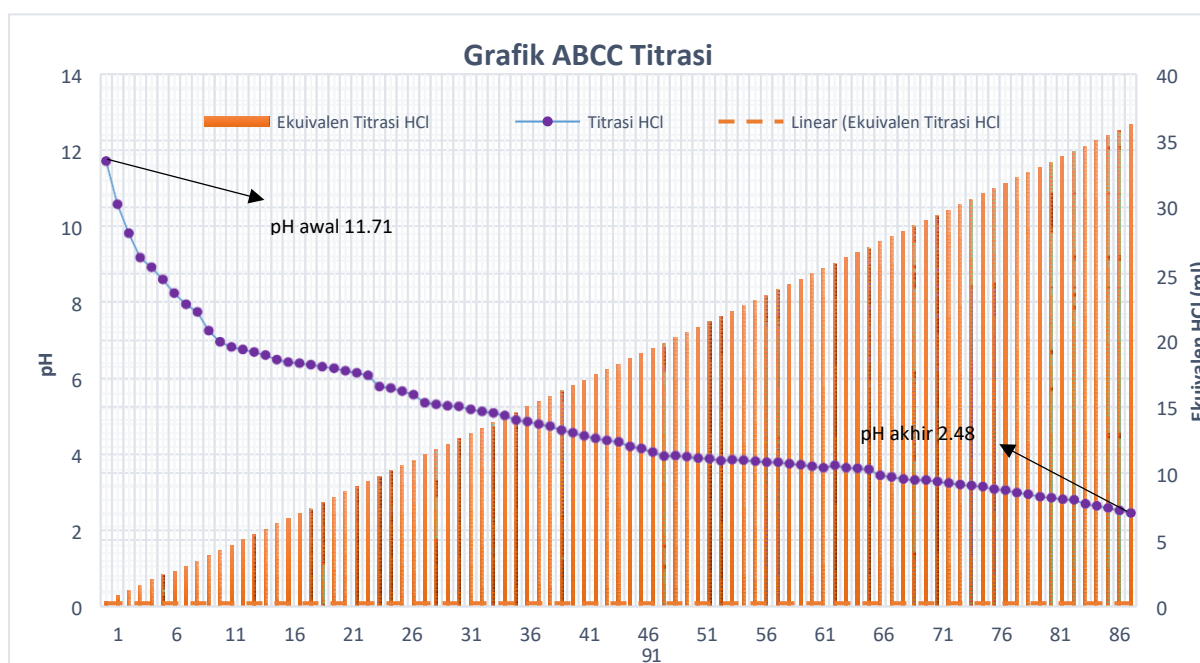
Tabel.3 Hasil Uji Statik Material *Fly Ash*

Kode Sampel	pH Paste	NAG pH	NAG pH 4,5	NAG pH 7,0	TS %	MPA (kgH ₂ SO ₄ /ton)	ANC (kgH ₂ SO ₄ /ton)	NAPP (kgH ₂ SO ₄ /ton)	Kategori
<i>Fly Ash</i>	9,92	9,40	6,39	0	0,37	11,33	337,88	-326	NAF

Sampel *fly ash* memiliki nilai kapasitas penetralan asam yang sangat tinggi yaitu 337,88 kg H₂SO₄/ton dan sampel *fly ash* memiliki total sulfur yang sangat rendah 0,37% yang mengindikasikan sumber keasaman yang cukup rendah. Oleh karena itu, *fly ash* dikategorikan sebagai material *non-acid forming* (NAF) atau tidak berpotensi membentuk air asam dan karena faktor nilai ANC yang cukup tinggi maka *fly ash* memiliki sifat alkalinitas yang baik dan dapat dijadikan alternatif bahan penetral asam.

Pengujian *Acid Buffer Characteristic Curve*

Pengujian ABCC melibatkan titrasi lambat pada sampel dengan asam dengan melakukan pemantauan pH. Data ini memberikan indikasi tentang bagian mana dari kapasitas penstabilan asam (ANC) yang diukur dalam sampel yang tersedia untuk netralisasi asam. Prosedur pengujian ABCC dilakukan titrasi pada sampel seberat 5 gram yang dilarutkan pada 10 ml air akuades (*water to solid ratio 2:1*) dengan menggunakan larutan asam standar. Pada penelitian ini, digunakan 2 (dua) jenis asam standar yaitu asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H_2SO_4). Hasil dari ABCC adalah kurva titrasi sampel yang menunjukkan respon penetralan sampel terhadap sejumlah asam. Respon penetralan ini merupakan karakteristik dari sampel bergantung terhadap kapasitas penetralan dan tipe penetral. Kurva ABCC dapat digunakan dalam prediksi penetralan AAT oleh *fly ash*.

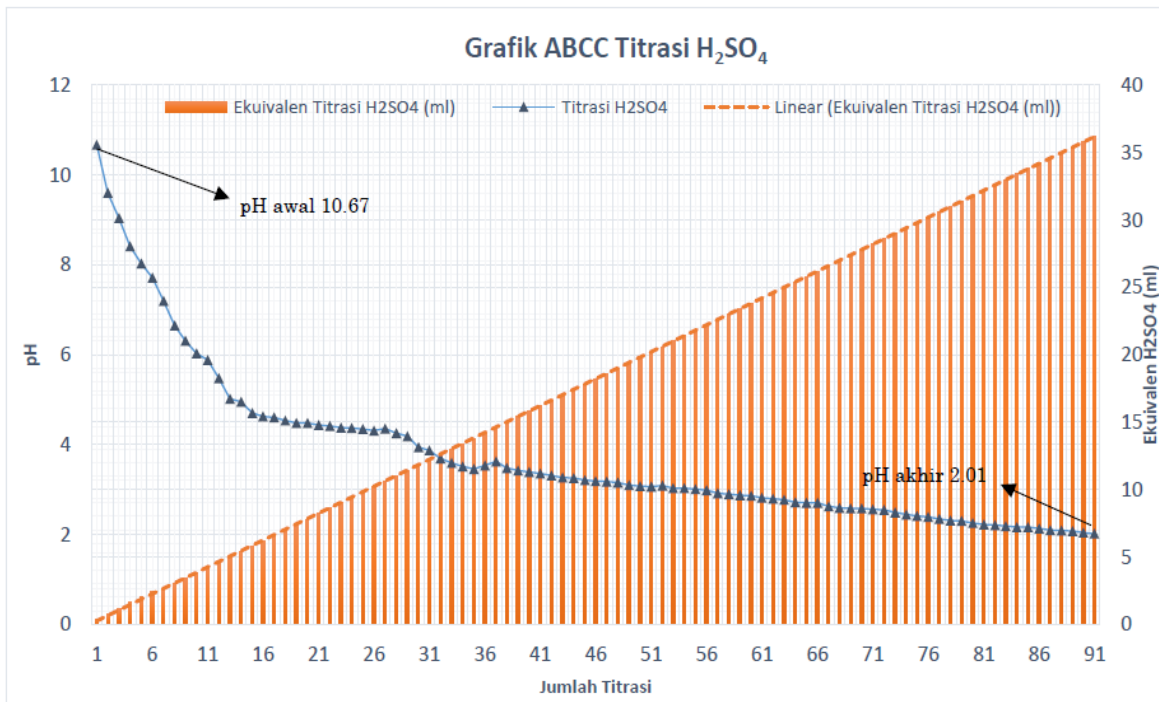


Gambar.4 Grafik ABCC titrasi HCl

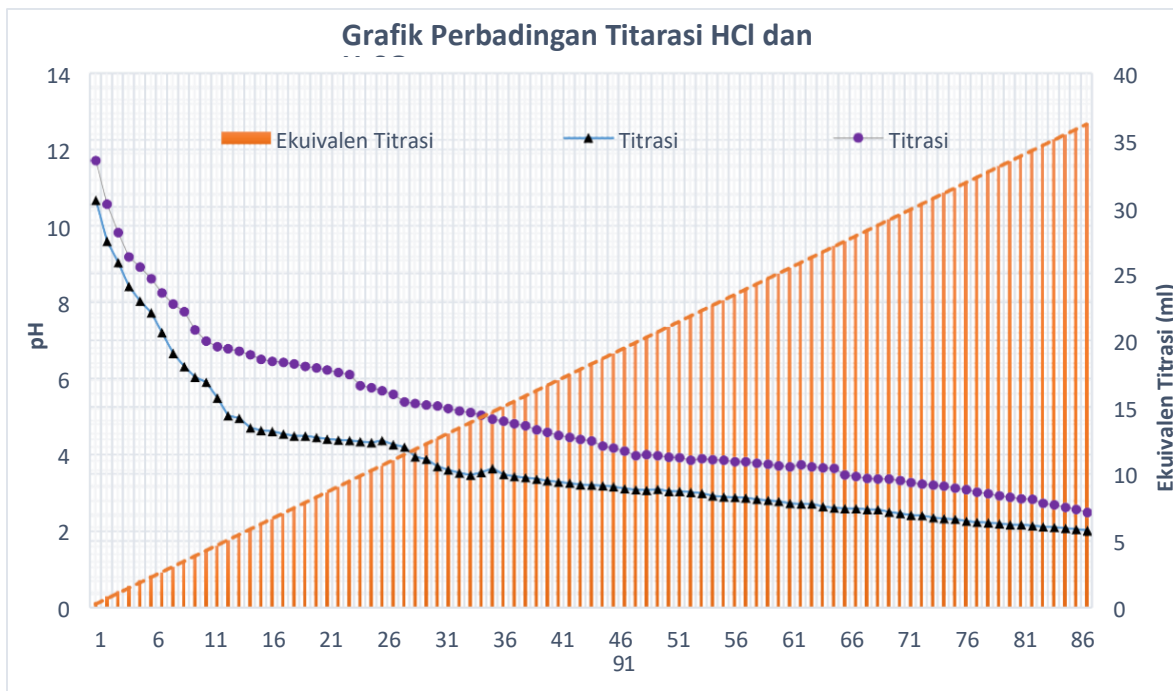
Gambar 4 menunjukkan grafik pH titrasi HCl ke dalam larutan *fly ash* dan aquades, pH awal dari larutan yaitu 11.71 menunjukkan bahwa *fly ash* memiliki tingkat reaktivitas yang cukup tinggi terhadap asam. Hal ini mendeskripsikan peran mineral CaO yang terkandung pada sampel. CaO adalah mineral paling reaktif apabila kontak dengan air asam. Pada titrasi HCl dari pH awal sampai pH 6 membutuhkan sekitar 25ml HCl setelah itu berangsur-angsur terus turun ke pH 2 jumlah total larutan HCl yang dapat diterima *fly ash* sampai turun ke pH 2 adalah sebanyak 36.2 ml. Model reaksi antara sampel *fly ash* dengan titrasi H_2SO_4 (Gambar 5) terlihat berbeda dengan HCl padahal sampel yang digunakan memiliki nilai NAPP (-326.55 kg H_2SO_4 /ton) dan Nilai ANC (337.88 kg H_2SO_4 /ton) yang sama. Data ABCC H_2SO_4 memiliki pH awal lebih rendah dari titrasi HCl yaitu 10,67 dan pH akhir 2,01 ini menunjukkan perbedaan karakteristik dalam menetralkan asam.



Grafik perbandingan titrasi (Gambar 6) menunjukkan respon yang berbeda dari *fly ash* terhadap jenis asam tetapi karakteristiknya tidak jauh berbeda dimana terlihat karakteristik *buffer* asam pada pH diatas 6 menunjukkan karakteristik yang serupa dimana pada *range* pH tersebut *fly ash* tidak bisa menjaga menjaga nilai pH tetap netral.



Gambar.5 Grafik ABCC titrasi H₂SO₄



Gambar.6 Grafik ABCC perbandingan titrasi HCl dan H₂SO₄

Grafik perbandingan titrasi (Gambar 6) menunjukkan respon yang berbeda dari *fly ash* terhadap jenis asam tetapi karakteristiknya tidak jauh berbeda dimana terlihat karakteristik buffer asam pada pH diatas 6 menunjukkan karakteristik yang serupa dimana pada range pH tersebut *fly ash* tidak bisa menjaga menjaga nilai pH tetap netral hal ini dikarenakan kandungan CaO yang tidak terlalu dominan pada sampel. Karakter tipe penetral dari mineral CaO sangat reaktif dimana pada saat pertama kali kontak dengan asam mineral karbonat merupakan mineral yang pertama kali bereaksi. Terlihat pada grafik ABCC karakter tipe penetral *fly ash* sangat baik pada pH dibawah pH netral, ini dipengaruhi oleh kandungan mineral gypsum dan alumunium silikat yang mempunyai karakteristik tipe penetral tidak terlalu reaktif terhadap asam dan mulai bereaksi (*buffer*) pada pH dibawah netral

KESIMPULAN

Dari hasil data kurva ABCC antara titrasi HCl dan H₂SO₄ menunjukkan tingkat reaktivitas *fly ash* lebih baik terhadap HCl hal ini diperlihatkan pada nilai pH awal yang lebih tinggi, tetapi karakteristik penetralan *fly ash* terhadap dua (2) jenis asam standar memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Karakteristik penetralan dari *fly ash* cukup baik tetapi memiliki kapasitas *buffer* yang kecil karena memiliki kandungan mineral CaO yang tidak terlalu besar. Reaksi penetralan *fly ash* sangat baik pada pH dibawah 6 hal ini terjadi karena adanya kandungan gipsium (12%), Magnesium (9,5%) dan alumunium silikat (13,71%). Dari hasil pengujian ABCC mendeskripsikan bahwa karakteristik penetralan pada fly ash cukup baik tetapi memiliki kapasitas penyangga (*buffer capacity*) yang kecil pada pH 7-10.

REFERENSI

- Abfertiawan M.S, 2018. Uji Karakterisasi Potensi Pembentukan Air Asam Tambang, GESI. Bandung
- AMIRA International. (2002): *ARD Test Handbook*, Ian Wark Research Institute, New Zealand
- ASTM C 618-93. "Standard Test Method for Fly Ash and Row or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portlan Cement Concrete," American S"ociety for Testing of Concrete's, 1991
- Gautama, R. S., Kusuma, G. J., Lestari, I., dan Anggana, R. P., 2010, "*Weathering Behavior of overburden-Coal ash Blending in relation to overburden Management for acid Mine drainage Prevention in Coal Surface Mine, Prosiding International Mine Water Association 2010, Mine Water and Innovative Thinking, Sydney, Editors, Wolkersdorfer &Freund, 417-420*
- Gautama, R. S. (2014): Pembentukan, Pengenalan dan Pengelolaan Air Asam Tambang, Penerbit ITB, Bandung, 1-5
- Gitari, W.M., Petrik, L.F., Key, D.L. and Okujeni, C., 2010. Partitioning of major and trace inorganic contaminants in fly ash acid mine drainage derived solid residues. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(3), pp.519-534.
- Harijono, D., 2006. *Fly Ash dan Pemanfaatannya*, Prosiding Seminar Nasional Batubara Indonesia, Yogyakarta: UGM
- Kefeni, K.K., Msagati, T.A. and Mamba, B.B., 2017. Acid mine drainage: prevention, treatment options, and resource recovery: a review. *Journal of Cleaner Production*, 151, pp.475-493

- Lestari, I., Gautama, R. S., and Abfertiawan, M. S., 2011, Studi Pemanfaatan Fly ash dan Bottom Ash dalam Pengelolaan Batuan Penutup untuk Pencegahan Air Asam Tambang PROSIDING TPT XX PERHAPI 2011 Studi Pemanfaatan Fly ash dan Bottom Ash dalam Pengelolaan Batuan Penutup untuk Pencegahan Air Asam Tambang, 2019, (March 2016), 535–541.
- Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara. 2006. Laporan: BatuBara di Indonesia. Jakarta: Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Said, M.S. 2018. “Pemodelan Reaksi Geokimia Penetralan Air Asam Tambang Dengan Menggunakan Metode *Open Fly Ash Channel* Skala Laboratorium”. Tesis. Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan. Magister Rekayasa Pertambangan. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Said, M.S., Nurhawaisyah, S.R., Juradi, M.I., Asmiani, N., Kusuma, G.J., 2019. Analisis Kandungan *Fly Ash* Sebagai Alternatif Bahan Penetral Dalam Penanggulangan Air Asam Tambang. *Jurnal Geomine*, 7(3): 163-170.
- Stewart, W. A., Miller, S. D. and Smart, R., 2006, “*Advances In Acid Rock Drainage (Ard) Characterisation Of Mine Wastes*”, 7th *International Conference on Acid Rock Drainage 2006*, ICARD - Also Serves as the 23rd Annual Meetings of the American Society of Mining and Reclamation, 3, pp. 2098–2119.
- Taylor, J., Pape, S. and Murphy, N., 2005, August. *A summary of passive and active treatment technologies for acid and metalliferous drainage (AMD)*. In *Proceedings of the in Fifth Australian workshop on Acid Mine Drainage*.
- Yacub, M. R. F., & Suliestyah, S., 2021. Uji Karakterisasi Fly ash sebagai Campuran Material Non-Acid Forming (NAF). *Indonesian Mining and Energy Journal*, 3(2), 89-96.