

KOMPOSIT BERBASIS LIMBAH PENAMBANGAN BATUBARA UNTUK PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG

Faisol Mukarrom*, Jumriyatin**

Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta,

Email: faisol@itny.ac.id

Info Artikel

Keywords:

claystone, mine waste water, iron, copper, manganese

Kata kunci:

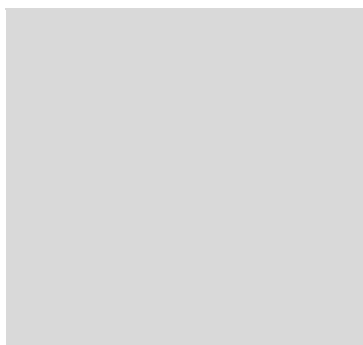
Lempung, air asam tambang, besi, mangan

Abstract

Stripping coal overburden that contains sulfides and is in contact with air causes the formation of acid mine drainage (AAT). Acid mine water that has a pH < 4 will react and dissolve metals in its path, resulting in the formation of dangerous toxic materials which are very detrimental to the environment and human health. One AAT treatment method that is easy to implement with low operational costs is passive treatment using the adsorption method. Adsorption is an effective method for overcoming the problem of acid mine drainage because of its economy and the abundant availability of adsorbents in nature. This research aims to determine the effectiveness and adsorption capacity of a composite consisting of mudstone derived from coal cover layer material, zeolite and coconut shell charcoal as an absorber of Fe and Mn in acid mine drainage. In this research, Tanjung Enim clay, South Sumatra was calcined at a temperature of 600-700 °C and characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and Surface Area Analyzer (SAA). This research uses experimental methods in the laboratory. The types of mudstone minerals are kaolinite, zeolite: mordenite, and coconut shell charcoal: cristobalite. The composite was made with 3 ratios (Claystone[C] : Quartz Sand [P]: Charcoal[A]) = 20:40 : 40, 25:25:50, and 10:20:70. The best composite adsorption level for Fe and Mn at C::P:A= 10:20:70

Abstrak

Pembongkaran dan pemindahan tanah lapisan penutup yang mengandung sulfida dan mengalami kontak dengan air menyebabkan terbentuknya air asam tambang (AAT). Air asam tambang yang memiliki pH < 4 akan bereaksi dan melarutkan logam yang dilaluinya sehingga akan terbentuk bahan beracun berbahaya yang sangat mengganggu lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu metode pengolahan AAT yang mudah diaplikasikan dengan biaya operasional rendah adalah *passive treatment* yang menggunakan metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang efektif untuk mengatasi masalah air asam tambang karena keekonomisannya dan ketersediaan adsorben di alam melimpah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas dan kapasitas adsorpsi komposit yang terdiri dari *claystone* yang berasal dari material *overburden* batubara, zeolit, dan arang tempurung kelapa sebagai penyerap Fe dan Mn dalam air asam tambang. Pada penelitian ini tanah liat Tanjung Enim, Sumatera Selatan dikalsinasi pada suhu 600-700



°C dan dikarakterisasi dengan X-Ray Diffraction (XRD), dan Surface Area Analyzer (SAA). Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium. Jenis mineral *claystone* adalah kaolinit, zeolit: mordenit, dan arang tempurung kelapa: cristobalite. Komposit dibuat dengan 3 perbandingan (Claystone[C] : Pasir Kuarsa (P): Arang[A]) = 20:40 : 40, 25:25:50, dan 10:20:70. Tingkat adsorpsi komposit terbaik terhadap Fe dan Mn pada C::P:A= 10:20:70

PENDAHULUAN

Industri pertambangan batubara berperan penting pada pendapatan negara, namun juga memiliki dampak lingkungan yang serius (Pranoto dkk, 2017).

Dampak lingkungan yang umumnya terjadi pada operasi tambang batubara akibat terangkutnya logam berat yang terkandung dalam air dari area tambang umumnya disebut sebagai Air Asam Tambang (AAT) (Jablonska dan Siedlecka, 2015). Senyawa asam mudah terbentuk pada proses penguraian mineral sulfida.

Logam berat umumnya ditemukan pada aliran air permukaan dan bawah permukaan serta lindi yang terisi tanah (Musso dkk, 2014; Abidi, 2019). Air asam tambang dibagi menjadi tiga jenis yaitu asam, netral dan basa (Masindi, 2017). Konsentrasi logam; berat yang tinggi pada air asam tambang berdampak pada kerusakan lingkungan yang ditandai dengan ekosistem yang tercemar akibat kapasitas lindi dan adanya bakteri aktif (Bwapwa dkk, 2017).

Perhatian utama dampak tambang adalah pada AAT karena memiliki pH rendah (pH 2-3) dan peningkatan konsentrasi ion logam berat (Masindi, 2017; Choudhury dkk, 2017). AAT yang netral ditunjukkan oleh pH netral, konsentrasi Fe rendah dan kadar arsenik (As) terlarut yang tinggi, kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn) dan lain-lain. Aplikasi dan metodologi pengelolaannya hanya dibahas secara sepintas (Lee at al, 2018).

Pada penelitian ini dibentuk komposit yang terdiri dari *claystone*, pasir kuarsa dan arang aktif tempurung kelapa. *Claystone* merupakan material yang menutupi lapisan endapan batubara yang volumenya sangat banyak dan mudah didapatkan (Pranoto dkk, 2017; Lee dkk, 2018). Beberapa asal material ini adalah lapisan tanah liat karbon yang menyertai lapisan batubara di banyak cekungan batubara yang tersebar di seluruh dunia (Jablonska dan Siedlecka, 2015; Offeddu dkk, 2015). Penelitian sebelumnya melaporkan tanah liat dari daerah tambang batubara dapat digunakan sebagai media adsorpsi logam berat dalam larutan air (Jablonska dan Siedlecka, 2015). Pasir kuarsa merupakan nama lain dari pasir silika, warna fisik putih, kristal quartz, proses terbentuknya merupakan endapan klastik, memiliki ukuran pasir yang didominasi oleh mineral silika (SiO_2) tekstur heksagonal, pada pembentukannya mengalami kristalisasi. Pemanfaatan tempurung kelapa selain menjadi arang memiliki banyak kegunaan seperti penyaring, adsorben, sebagai energi terbarukan dan pengembangan ekonomi masyarakat.

METODE

Pembentukan komposit terdiri dari Sampel lempung *claystone* diambil dari *overburden* area tambang batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan, pasir kuarsa dan arang aktif tempurung kelapa

Preparasi of Adsorben

Claystone yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Claystone* dibersihkan dari pengotor-pengotor dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan diudara terbuka hingga kering. *Claystone* yang telah kering kemudian dilakukan identifikasi.

Pasir kuarsa dibersihkan dari kotoran-kotoran, diayak dan ditumbuk halus. Setelah halus dilanjutkan dengan ayakan berukuran ukuran 100 mesh. Kemudian di cuci dengan HNO_3 0,1 M sambil diaduk dengan pengaduk *magnetic* selama 1 jam.

Tempurung kelapa dipotong kecil-kecil, dicuci sebanyak 3 kali, dijemur hingga kering, difurnis 400°C selama 1 jam, digrinding dan diayak menggunakan ayakan ukuran 150 mesh (Rahayu *et al.*, 2014).

Aktivasi Adsorben

Claystone yang telah dipreparasi dibakar pada suhu 800°C selama 12 jam. *Claystone* aktivasi kemudian dipotong kecil-kecil lalu dianalisis dengan FTIR, XRD dan SAA.

Sebanyak 165 g pasir kuarsa dan 135 g natrium bikarbonat dicampurkan dan dilakukan proses pencampuran secara merata. Kemudian dimasukkan dalam krusibel lalu dipanaskan sampai temperatur 1100°C selama 2 jam. Kemudian lelehan tersebut didinginkan dan digerus menjadi serbuk. Kemudian dianalisis dengan FTIR, XRD dan SAA.

Sebanyak 50 gram tempurung kelapa di rendam dengan 100 mL larutan HCl 4 M selama 24 jam, lalu disaring dan di cuci dengan akuades. Karbon aktif yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven pada temperature 110°C selama 3 jam, lalu didinginkan dalam desikator

Applikasi Adsorpsi

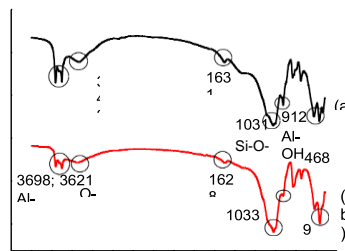
Air asam tambang dilakukan pretreatment terlebih dahulu dengan cara ditambahkan kapur tohor dengan perbandingan 2 gram kapur tohor per satu liter air asam tambang. Adsorben *claystone*, pasir kuarsa, arang tempurung kelapa dan zeolit masing-masing dimasukkan ke dalam kolom pada alat penjerap dengan urutan kolom pertama pasir kuarsa, kolom kedua *claystone*, kolom ketiga zeolit dan kolom keempat arang tempurung kelapa. Perbandingan masing-masing adsorben yaitu *claystone* pasir kuarsa:: arang tempurung kelapa (:C P:A) = 10:20:70 20:40:40 dan 25:25:50. Kemudian air asam tambang dialirkan melalui kolom yang berisi adsorben pada alat penjerap dengan waktu kontak 2 liter/menit. Air asam tambang hasil adsorpsi dianalisis kandungan logam Mn dan Pb yang tersisa, pH dan TSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Adsorben

Karakterisasi FTIR *Claystone*

Claystone sebelum aktivasi, mineral kaolinit muncul pada $2\theta = 35,02^\circ$ dan $32,09^\circ$, mineral montmorilonit muncul pada $2\theta = 5,34^\circ$; $19,85^\circ$ dan $62,05^\circ$, mineral illit pada $2\theta = 26,70^\circ$ dan mineral quartz pada $2\theta = 68,29^\circ$. Pada *claystone* aktif muncul mineral kaolinit pada $2\theta = 30,20^\circ$; $39,65^\circ$; $60,11^\circ$, mineral montmorilonit muncul pada $2\theta = 5,55^\circ$; $20,10^\circ$; dan $62,05^\circ$, mineral illit pada $2\theta = 26,89^\circ$ dan mineral quartz pada $2\theta = 68,37^\circ$.



Gambar 1. Spektra FTIR *Claystone* Sebelum Aktivasi (a) dan Sesudah Aktivasi (b)

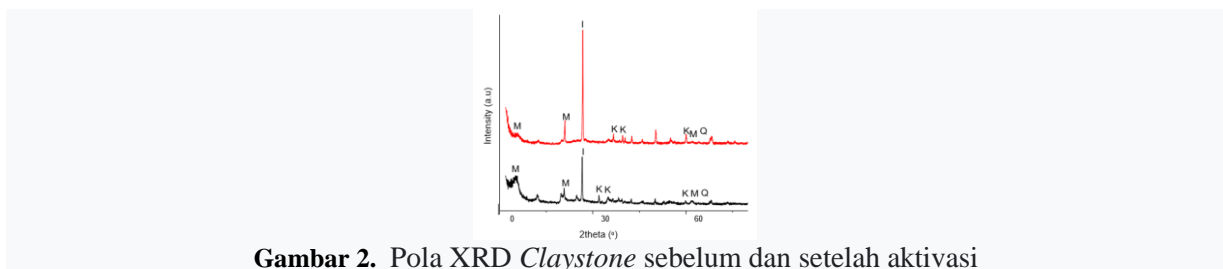
Tabel 1. Perbandingan Serapan FTIR *Claystone* Sebelum dan Sesudah Aktivasi

No	Gugus Fungsi	Pustaka	Sebelum aktivasi	Sesudah aktivasi
1	Al-OH-Al	3616 ⁽¹⁾	3698;	3698;

			3623	3621
2	-OH	3500-3400 ⁽²⁾	3425	3414
3	H-O-H	1639 ⁽³⁾	1631	1628
4	Si-O-Si / Al-O-Al	1039 ⁽¹⁾	1031	1033
5	Al-OH	920-690 ⁽⁴⁾	912	916
6	Si-O / Al-O	470,6 ⁽⁵⁾	468	468

Karakterisasi X-RD Claystone

Perbandingan difraktogram sebelum dan sesudah aktivasi menunjukkan adanya penurunan intensitas serta munculnya puncak baru. Penurunan intensitas dari masing-masing mineral menunjukkan bahwa struktur kristal menjadi amorf.



Gambar 2. Pola XRD Claystone sebelum dan setelah aktivasi

Analisis Luas Permukaan Claystone

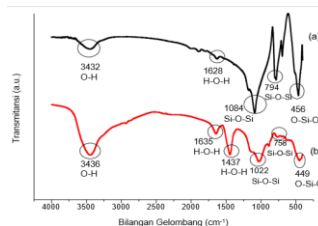
Berdasarkan data pada tabel 3 dapat diketahui bahwa luas permukaan *claystone* setelah proses aktivasi lebih besar daripada sebelum aktivasi. Hal ini dikarenakan proses aktivasi dapat menghilangkan pengotor pada permukaan adsorben sehingga permukaan yang sebelumnya tertutupi oleh pengotor akan terbuka.

Tabel 2. Hasil Analisis Luas Permukaan Claystone

No	Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)
1	Claystone Raw	34,793
2	Claystone Aktif	49,859

Karakterisasi FTIR Pasir Kuarsa

Aktivasi pasir kuarsa dilakukan secara kimia yang bertujuan untuk melarutkan pengotor sehingga poriporinya lebih terbuka. Pengaruh aktivasi pasir kuarsa ditunjukkan dengan spektra FTIR pada Gambar 3.

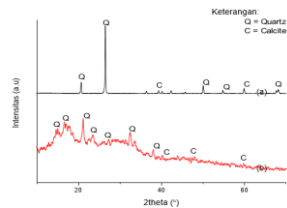


Gambar 3. Spektra FTIR Pasir Kuarsa Sebelum (a) dan Sesudah Aktivasi (b)

Karakterisasi X-RD Pasir Kuarsa

Hasil analisis XRD pasir kuarsa sebelum maupun sesudah aktivasi menunjukkan adanya kandungan mineral seperti *calcite* dan *quartz* yang dibuktikan dengan munculnya puncak-puncak

difraksi pada 2θ . Gambar 12 menunjukkan bahwa puncak mineral *calcite* muncul pada daerah $2\theta = 39^\circ$ dan 59° serta pada daerah $2\theta = 20^\circ, 26^\circ, 50^\circ, 54^\circ$, dan 68° muncul puncak mineral *quartz*.



Gambar 4. Difraktogram Pasir Kuarsa Sebelum (a) dan Sesudah Aktivasi (b)

Pada pasir kuarsa aktif muncul puncak mineral *calcite* pada $2\theta = 39^\circ, 48^\circ$ dan 59° sedangkan mineral *quartz* muncul pada $2\theta = 14^\circ, 16^\circ, 21^\circ, 23^\circ, 27^\circ, 32^\circ$ dan 38° . Perbandingan difraktogram sebelum dan sesudah aktivasi menunjukkan adanya penurunan intensitas serta munculnya puncak baru.

Tabel 3. Perbandingan Serapan FTIR Pasir Kuarsa Sebelum dan Sesudah Aktivasi

No Gugus Fungsi	Pustaka	Bilangan Gelombang Sebelum Aktivasi	Sesudah aktivasi
1 O-H stretch	3550-200 ⁽¹⁾	3432	3436
2 H-O-H bend	1641 ⁽²⁾	1628	1635; 1437
3 Si-O-Si asymmetric stretch	1076 ⁽³⁾	1084	1022
4 Si-O-Si symmetric stretch	771 ⁽³⁾	794	758
5 O-Si-O bend	461 ⁽⁴⁾	456	449

Analisis Luas Permukaan Pasir Kuarsa

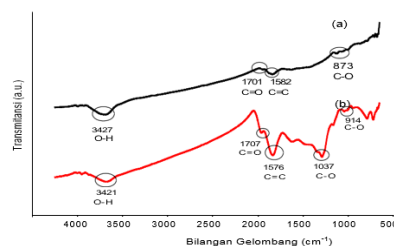
Luas permukaan pasir kuarsa dianalisis dengan SAA untuk mengetahui kemampuan adsorpsinya. Luas permukaan pasir kuarsa setelah proses aktivasi lebih besar dikarenakan pengotor yang sebelumnya menutupi permukaan pasir kuarsa meluruh dan hilang karena proses aktivasi sehingga kemampuan adsorpsinya menjadi lebih besar. Hasil analisis SAA pasir kuarsa ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Luas Permukaan Pasir Kuarsa

No	Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)
1	Pasir Kuarsa	9,031
2	Pasir Kuarsa Aktif	17,458

Karakterisasi FTIR Arang Tempurung Kelapa

Aktivasi arang tempurung kelapa dilakukan dengan penambahan larutan HCl 4 M yang bertujuan untuk melarutkan pengotor pada permukaan arang sehingga pori-pori arang akan terbuka dan luas permukaannya bertambah. Pengaruh aktivasi pada arang tempurung kelapa ditunjukkan pada Gambar 6



Gambar 7. Spektra FTIR Arang Tempurung Kelapa Sebelum (a) dan Sesudah Aktivasi (b)

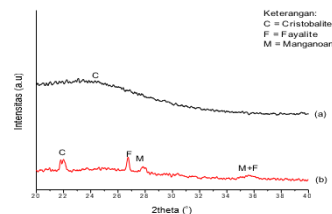
Hasil spektra FTIR menunjukkan munculnya puncak baru pada arang tempurung kelapa sesudah aktivasi. Muncul puncak baru pada bilangan gelombang 1037 cm^{-1} yang merupakan serapan C-O.

Tabel 5. Rasio Serapan FTIR Arang Tempurung Kelapa Sebelum dan Sesudah Aktivasi.

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
		Pustaka	Sebelum Aktivasi	Sesudah aktivasi
1	O-H	3425 ⁽¹⁾	3427	3421
2	C=O	1705 ⁽¹⁾	1701	1705
3	C=C	1589 ⁽¹⁾	1582	1576
4	C-O	1300-800 ⁽²⁾	873	914; 1037

Karakterisasi X-RD Arang Aktif Tempurung Kelapa

Puncak difraksi arang tempurung kelapa sebelum aktivasi ditunjukkan pada $2\theta = 24,22^\circ$ yang merupakan mineral cristobalite sedangkan puncak difraksi arang tempurung kelapa setelah aktivasi ditunjukkan pada $2\theta = 21,91^\circ$ (cristobalite), $26,723$ (fayalite), $27,86$ (manganooan) dan $35,84$ (manganooan + fayalite).



Gambar8. Difraktogram XRD arang tempurung kelapa sebelum (a) dan sesudah aktivasi (b)

Analisis Luas Permukaan Arang Aktif Tempurung Kelapa

Analisis luas permukaan arang tempurung kelapa diperoleh hasil luas permukaan setelah proses aktivasi lebih besar daripada sebelum aktivasi yang dimungkinkan karena telah hilangnya pengotor sehingga permukaan yang sebelumnya tertutupi oleh pengotor akan lebih terbuka dan dapat dimasuki logam Fe dan logam Mn pada saat proses adsorpsi. Hasil analisis luas permukaan arang tempurung kelapa ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Analisis Luas Permukaan Arang Tempurung Kelapa

No	Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)
1	Arang Tempurung Kelapa	27,579
2	Arang Tempurung Kelapa Aktif	51,420

Aplikasi Adsorpsi

Aplikasi Adsorpsi Logam Berat dan pH

Analisis kandungan logam pada air asam tambang sebelum dan sesudah adsorpsi dilakukan menggunakan aas sedangkan analisis ph dilakukan dengan ph meter. Kandungan logam yang dianalisis pada penelitian ini adalah logam Fe dan mn karena logam tersebut banyak terkandung dalam air asam tambang. Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi adsorben untuk mengetahui komposisi optimum adsorben dalam menjerap logam Fe dan mn. Hasil analisis kandungan logam dan ph ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 8. Hasil Analisis Kandungan Logam dan pH

Parameter	Kontrol	Sampel			
		1	2	3	4
Fe (ppm)	29,416	2,680	0,537	0	0
Mn (ppm)	26,173	24,088	21,899	19,027	17,523
pH	2,6	2,82	3,30	7,05	6,81

Ket: Sampel 1 (C:P::A=20:40:40), Sampel 2 (C:P:A=25:25:50), Sampel 3 (C:P:A=10:20:70 Pretreatment),

Berdasarkan Tabel 9 diketahui bahwa hasil analisis kandungan logam Fe dan mn maupun ph setelah dilakukan pretreatment lebih baik daripada sebelum pretreatment. Hal ini karena pada saat proses pretreatment, air asam tambang ditambahkan dengan kapur tohor yang bersifat basa sehingga ph air asam tambang meningkat dan logam-logam dalam air tersebut tereduksi. Komposisi optimum adsorben dalam menyerap logam Fe dan Mn yaitu pada perbandingan antara pasir kuarsa/*claystone*/zeolit/arang tempurung kelapa (C:P:A) = 10:20:70 dengan persentase penjerapan Fe 100% dan Mn 33%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposisi adsorben tersebut saling mendukung satu sama lain untuk membentuk situs aktif yang lebih banyak serta meningkatkan luas permukaan sehingga mampu menyerap logam Fe dan mn secara maksimal. Menurut keputusan menteri negara lingkungan hidup no 113 tahun 2003, baku mutu ph air asam tambang yaitu antara pH 6 sampai 9 sehingga pada penelitian ini pH air asam tambang sudah dibawah ambang baku mutu. Sedangkan baku mutu kandungan logam Fe dan logam Mn masing-masing 7 ppm dan 4 ppm.

Pada penelitian ini, kandungan logam Fe telah dibawah ambang baku mutu airlimbah kegiatan pertambangan batubara sedangkan kandungan logam Mn belum masih diatasnya. Hal ini dapat dimungkinkan karena terdapat kandungan logam Mn pada adsorben seperti pada *claystone* sehingga logam Mn yang terkandung dalam adsorben tersebut ikut larut dalam air asam tambang yang menyebabkan logam Mn dalam air asam tambang tidak dapat terjerap dengan maksimal.

Penurunan adsorpsi Mn(II) karena pelepasan gugus asam juga telah dipelajari dalam kasus karbon aktif yang diaktifkan pada suhu sekitar 600 °C, meskipun karbon tetap berada di sebagian besar gugus non-asam permukaan.

Studi tersebut menunjukkan bahwa komposit yang diteliti dapat menyerap logam dalam jumlah besar.

KESIMPULAN

Hasil analisis yang diambil mengarah pada kesimpulan berikut:

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pengolahan air asam tambang metode pasif dengan media, *claystone*, pasir kuarsa, dan arang aktif tempurung kelapa dapat menaikkan pH, menurunkan konsentrasi ion logam Fe dan Mn.
2. Pembentukan komposit yang terdiri dari *claystone* (C), dan pasir kuarsa (P), arang aktif tempurung kelapa (A) memiliki daya jerap terbaik pada perbandingan prosentase C:P:A = 10:20:70.

DAFTAR PUSTAKA

Sulistijo U.W., Wibowo A.P., Abdullah, The Contribution Of Low Rank Coal Liquefaction In Indonesian Economy In 2025. *Procedia Earth and Science*, Vol 6, 2013, pp. 301-310.

Friederich MC, Leeuwen TV. A Review Of The History Of Coal Exploration, Discovery And Production In Indonesia: The Interplay Of Legal Framework, Coal Geology And Exploration Strategy. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 178, 2017, pp. 56-73.

- Jabłńska B., Siedlecka E., Removing Heavy Metals From Wastewaters With Use Of Shales Accompanying The Coal Beds. *Journal of Environmental Management*, Vol. 155, 2015, pp. 58-66.
- Masindi V., Recovery Of Drinking Water And Valuable Minerals From Acid Mine Drainage Using An Integration Of Magnesite, Lime, Soda Ash, CO₂ And Reverse Osmosis Treatment Processes. *Journal of Environmental Chemical Process*, Vol. 5, 2017, pp. 3136-3142.
- Pranoto, Purnawan C, Widyasari A.D., Synthetic Of Allophane-Like And Adsorption For Lead (Pb) Heavy Metals. *Earth And Environmental Science*, Vol. 75, 2017, pp. 1-7.
- Choudhury B.U., Malang A, Webster R. Mohapatra K.P., Kumar B.C., Das A., Hazarika S., Acid Drainage From Coal Mining: Effect On Paddy Soil And Productivity Of Rice. *Science of the Total Environment*, Vol 583, 2017, pp. 344-351.
- Dutta M., Saikia J., Taffarel S.R., Waanders F.B., Medeiros D., Cutruneo C.M.N.L., et al. Environmental Assessment And Nano-Mineralogical Characterization Of Coal, Et Al. And Sediment From Indian Coal Mining Acid Drainage. *Geoscience Frontiers*, Vol. 8, 2017, pp. 1285-1297.
- Alastaira M., Andrew H., Pascaline P., Mark E., Walker P., Alkali Activation Behaviour Of Un-Calcined Montmorillonite And Illite Clay Minerals. *Applied Clay Science*, Vol. 166, 2018, pp. 250-261.
- Abidi N., Duplay J., Jada A., Errais E., Ghazi M., Semhi K. and Trabelsi-Ayadi M. Removal Of Anionic Dye From Textile Industries' Effluents By Using Tunisian Clays As Adsorbents. Zeta Potential and Streaming-Induced Potential Measurements. *C.R. Chimie*, Vol. 22, 2019, pp. 113-125.
- Musso T., Parolo M, Pettinari, G, Francisca, F. Cu(II) And Zn(II) Adsorption Capacity Of Three Different Clay Liner Materials. *Journal of Environmental Management*, Vol. 146, 2014, pp. 50-58.
- Bwapwa J.K., Jaiyeola A.T., Chetty R., Bioremediation Of Acid Mine Drainage Using Algae Strains: A Review. *South African Journal of Chemical Engineering*, Vol.24, 2017, pp. 62-70.
- Offeddu F.G., Cama J., Soler J.M., Davila G., McDowell A., Craciunescu T., Tiseanu I., Processing Affecting The Efficiency Of Limestone In Passive Treatment For AMD: Column Experiments. *J. Env. Chem. Eng.* Vol.3 2015, pp. 304-316.
- Lee G., Cui M., Yoon Y., Khim J. and Jang M., Passive Treatment Of Arsenic And Heavy Metals Contaminated Circumneutral Mine Drainage Using Granular Polyurethane Impregnated By Coal Mine Drainage Sludge. *Journal of Cleaner Production*, Vol 186, 2018, pp. 282-292.
- Ranjan R., Assessing the impact of mining on Deforestation In India. *Resources Policy*, Vol.60, 2019, pp. 23-35.
- Oggeri C., Fenoglio T.M., Godio I. and Vinai R. Overburden Management In Open Pits: Options And Limits In Large Limestone Quarries. *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 29, 2019, pp. 217-228.
- Ojonimi T.I., Asuke F., Onimisi M.A. and Onuh C.Y., Acid Mine Drainage (AMD): An Environmental Concern Generated By Coal Mining. *Journal Of Degraded And Mining Lands Management*, Vol. 6, Issue 4, 2019, pp.1875-1881.
- Simate GS, Ndlovu S. Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 2, 2014, pp.1785-1803.
- Jaskulski R., Józwiak-Niedziewicz D. and Yakymchko, Y., Calcined Clay as Supplementary Cementitious Material. *Materials*, Vol. 13, 2020, pp.4734-4769.
- Hasan A., Kalsum L., Yerizam M., Junaidi R., Taufik M., Aznury M., and Fatria. *Journal of Physics: Conf. Series*, Vol.167, 2019, pp.1-5