



Claystone, Zeolit, dan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Komposit untuk Menyerap Logam Fe dan Mn dari Air Asam Tambang Batubara

Mycelia Paradise^{1,2*}, Edy Nursanto¹⁾, Nurkhamim¹⁾

¹⁾Program Magister Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta

²⁾Jurusan Teknik Pertambangan ITNY

* email korespondensi : mycelia@itny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mempelajari tentang pemanfaatan *claystone* yang berasal dari material overburden batubara, zeolit, dan arang aktif tempurung kelapa untuk menyerap logam Fe dan Mn dalam sampel air asam tambang batubara. Adsorben dikarakterisasi menggunakan XRD, BET, dan SEM. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa jenis mineral dalam *claystone* adalah kaolinit, zeolit:mordenit, dan arang aktif tempurung kelapa:cristobalite. Komposit dibuat dengan mencampurkan ketiga adsorben dengan 3 perbandingan (Claystone[C]:Zeolit[Z]:Arang aktif [A]) = 50:25:25; 25:25:50; dan 25:50:25. Berdasarkan hasil uji luas permukaan dengan metode BET, komposit dengan rasio 25:25:50 memiliki luas permukaan terbesar, yaitu 62,44 m²/g. Hasil karakterisasi SEM-EDX menunjukkan bahwa komposit memiliki morfologi yang berpori, dan memiliki situs aktif seperti Si dan Al. Adsorpsi dilakukan dengan sistem *batch* menggunakan alat *hot plate stirer* pada variasi waktu kontak 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Uji adsorpsi menunjukkan bahwa komposit berhasil menaikkan pH AAT dari 2,6 menjadi 7,4, menurunkan konsentrasi Fe dari 13,006 mg/l ke 0,0456 mg/l (efektivitas 99,65%) dan konsentrasi Mn dari 30,59 mg/l ke 16,76 mg/l (efektivitas 45,01%). Kapasitas adsorpsi komposit adalah 0,642 mg/g untuk Fe dan 0,690 mg/g untuk Mn.

Kata kunci: adsorpsi, efektivitas, kapasitas, komposit

ABSTRACT

This research studied the use of claystone from coal overburden material, zeolite, and activated carbon from coconut shell to adsorb iron (Fe) and manganese (Mn) metals from acid mine drainage (AMD) in coal mining. Adsorbents were characterized using XRD, BET, and SEM. The result of XRD characterisation showed that type of mineral in claystone is kaolinite, zeolite: mordenit, and activated carbon from coconut shell: cristobalite. Composite was made by mixing claystone, zeolite, and activated carbon from coconut shell with 3 ratio (Claystone[C]:Zeolite[Z]:Activated carbon [A]) = 50:25:25; 25:25:50; and 25:50:25. Based on surface area analysis with BET method, composite with ratio 25:25:50 has the largest surface area (62,44 m²/g). The result of SEM-EDX characterisation showed that composite has porous morphology and active sites such as Si and Al. Adsorption was carried out using batch system with hot plate stirrer on 30, 60, 90, 120, and 150 minutes of contact time. Based on the result of adsorption experiment, composite succeeded increasing solution pH from 2.6 to 7.4, decreasing iron concentration from 13.006 mg/l to 0,0456 mg/l and manganese concentration from 30.59 mg/l to 16.76 mg/l. The composite effectiveness of decreasing heavy metals concentration are 99,65% for iron and 45,01% for manganese. The adsorption capacity of composite are 0,642 mg/g for iron and 0,690 mg/g for manganese.

Keywords: adsorption, capacity, composite, effectiveness

I. PENDAHULUAN

Industri pertambangan batubara memainkan peran penting bagi perekonomian suatu negara. Indonesia merupakan produsen batubara terbesar ketiga di dunia dengan total produksi 323,3 juta ton pada tahun 2018 (*BP Statistical Review of World Energy*, Juni 2019). Proses pembongkaran overburden pada penambangan batubara erat kaitannya dengan terjadinya air asam tambang sebagai akibat terpaparnya batuan mengandung sulfida. Air asam tambang (AAT) merupakan air dengan nilai pH rendah dan kelarutan logam yang cenderung meningkat yang terbentuk karena adanya reaksi antara mineral sulfida, oksigen, dan air (Indra, 2014). Diantara beberapa logam berat yang terkandung dalam air asam tambang, parameter logam berat yang umum dalam air asam tambang batubara yaitu mangan (Mn) dan besi (Fe).

Kadar maksimum mangan dan besi dalam air asam tambang tercantum dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara yang mensyaratkan kadar maksimum besi total adalah 7 mg/l dan mangan total adalah 4 mg/l. Terdapat beberapa metode untuk

mengurangi logam berat dalam AAT, namun adsorpsi merupakan metode yang efektif menyerap logam berat dengan biaya rendah (Patterer, 2017). Penelitian ini memanfaatkan *claystone* yang berasal dari overburden batubara, zeolit, dan arang tempurung kelapa sebagai adsorben untuk menyerap logam Fe dan Mn. Pemilihan ketiga adsorben ini didasarkan atas ketersediaannya yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. *Claystone* merupakan batuan yang bersifat plastis (liat) yang berkomposisi aluminium silikat hidrous ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$). *Claystone* dapat digunakan untuk menghilangkan logam-logam berat dari air limbah karena memiliki daya serap yang kuat.

Daya serap (sorpsi) yang kuat pada beberapa logam berat yang terlarut pada air (Musso dkk., 2014). Zeolit merupakan senyawa yang terdiri dari ikatan $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$ yang saling terhubung oleh atom oksigen sehingga membentuk kerangka zeolit yang mengandung rongga sehingga memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai adsorben logam yang terlarut dalam air (Catri, 2016). Arang tempurung kelapa merupakan material terbaik diantara material lain (kulit padi, kayu, bambu, ampas tebu, dan kulit kacang) yang dapat digunakan untuk membuat arang aktif. Hal ini karena pori arang tempurung kelapa lebih banyak dan kandungan abunya lebih sedikit (Li dkk, 2009).

II. METODE PENELITIAN

2.1. Alat

Hot plate stirrer, gelas beker, neraca analitik, erlenmeyer, spatula, cawan petri, corong kaca, gelas ukur, oven, furnace, tangkrus

2.2. Bahan

Claystone dari material overburden pada pertambangan batubara, zeolit, tempurung kelapa, HCl p.a (merck), NaOH p.a (Merck), akuades

2.3. Preparasi Adsorben

- *Claystone* dibersihkan dari pengotor, diangin-anginkan, ditumbuk, dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. *Claystone* kemudian dicuci dengan akuades, disaring, dan dikeringkan pada suhu $105^\circ C$ selama 4 jam. Setelah itu, *claystone* diaktivasi kimia dengan merendam 150 gram *claystone* pada gelas beker berisi 300 ml NaOH 3M. Larutan disaring dengan kertas saring whatman, dicuci dengan akuades, dan disaring lagi. *Claystone* dipanaskan pada furnace dengan suhu $700^\circ C$ selama 30 menit dan kemudian didinginkan sampai suhu ruang. (Nwosu dkk, 2018; Mukarrom dkk, 2020).
- Zeolit dari Klaten dibersihkan, ditumbuk, dan diayak dengan ayakan 100 mesh. Zeolit direndam dalam akuades selama 24 jam, disaring, dan dikeringkan pada suhu $120^\circ C$ selama 24 jam. Kemudian zeolit diaktivasi kimia dengan merendam 150 gram zeolit kedalam gelas beker berisi 300 ml HCl 3M. Larutan disaring dengan kertas saring, dicuci dengan akuades, dikeringkan pada temperatur $80^\circ C$ selama 24 jam, dan didinginkan sampai suhu ruang.
- Arang tempurung kelapa ditumbuk dan diayak dengan ayakan 100 mesh. Arang tempurung kelapa diaktivasi dengan cara merendam 150 gram arang tempurung kelapa pada gelas beker berisi 300 ml HCl 4M. Larutan disaring dengan kertas saring, dicuci dengan akuades, dipanaskan pada suhu $110^\circ C$ selama 3 jam, dan didinginkan sampai suhu ruang (Tan dkk, 2017; Pranoto dkk, 2020).

Adsorben kemudian dikarakterisasi dengan XRD

2.4. Pembuatan Komposit

Komposit dibuat dengan mencampurkan *claystone* teraktivasi, zeolit teraktivasi, dan arang aktif tempurung kelapa dengan 3 perbandingan (C: Z: A) = 50:25:25, 25:25:50 dan 25:50:25. Ketiga komposit kemudian dikarakterisasi menggunakan *surface area analyzer* dengan metode BET untuk menentukan luas permukaan masing-masing komposit.

2.5. Pengambilan Sampel AAT

AAT diambil dari salah satu perusahaan penambangan batubara yang terletak di daerah Bontang, Kalimantan Timur. AAT dianalisa dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Konsentrasi Fe dalam AAT adalah 13,006 mg/l dan Mn 30,59 mg/l.

2.6. Adsorpsi Fe dan Mn Oleh Komposit

Adsorpsi dilakukan dengan cara meletakkan 250 ml AAT dalam gelas beker diatas *hot plate stirrer*. Kemudian menghidupkan alat, mengatur kecepatan pengadukan dan suhu yang diinginkan. Setelah itu, memasukkan 5 gram komposit kedalam gelas beker dan menunggu sesuai waktu kontak 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Setelah adsorpsi selesai, larutan disaring menggunakan kertas saring, mengukur pH nya menggunakan pH meter, dan kemudian larutan dikirim ke laboratorium untuk uji AAS. Jumlah logam Fe atau Mn yang dapat diserap oleh per gram komposit (kapasitas adsorpsi) (mg/g) dan efektivitas adsorpsi dihitung menggunakan rumus (1) dan (2) (Balintova et al, 2014):

$$\frac{x}{m} = \frac{(Co-Ce).V}{W} \tag{1}$$

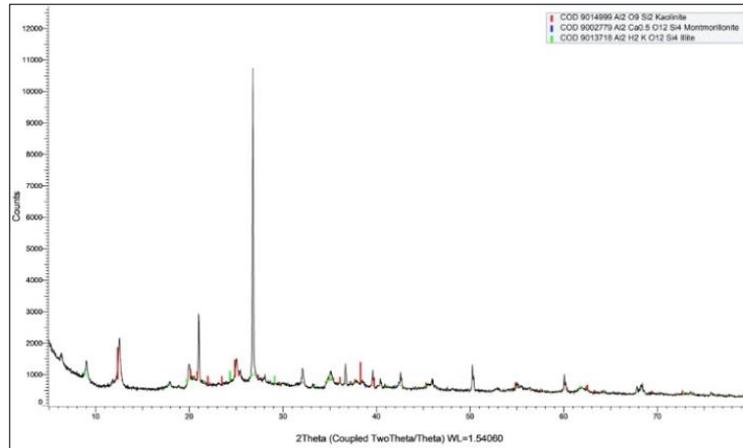
$$Q = \frac{(Co-Ce)}{Co} \times 100\% \tag{2}$$

Dimana $\frac{x}{m}$ adalah kapasitas adsorpsi, Q adalah efektivitas adsorpsi, Co adalah konsentrasi awal, Ce adalah konsentrasi kesetimbangan, V adalah volume larutan dalam liter, dan W adalah massa komposit.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

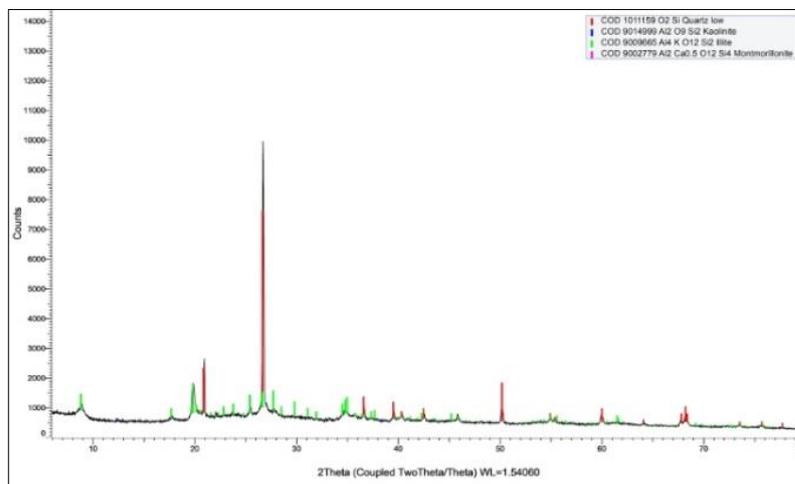
3.1 Karakterisasi XRD

3.1.1 Claystone



Gambar 1. Pola Difraksi Claystone Sebelum Aktivasi

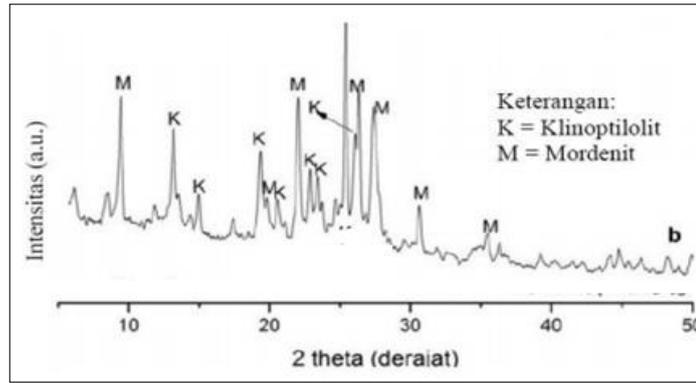
Hasil analisis XRD *claystone* sebelum aktivasi (dapat dilihat pada Gambar 1) menunjukkan bahwa *claystone* yang berasal dari material overburden batubara mengandung kaolinit, illit, dan montmorilonit yang ditunjukkan oleh puncak difraksi pada 2θ . Illit ($Al_2H_2KO_{12}Si_4$) muncul pada $2\theta = 20,4^\circ ; 22^\circ ; 23,5^\circ ; 25^\circ ; 25,5^\circ ; 27^\circ ; 29,5^\circ ; 35,5^\circ ; 36,5^\circ ; 40^\circ ; 45,5^\circ ; 47,5^\circ ; 60,5^\circ ; 63^\circ ; 69,5^\circ ; 74^\circ ; 77^\circ$. Montmorilonit ($Al_2CaO_5O_{12}Si_4$) muncul pada $2\theta = 4,5^\circ ; 12^\circ ; 20,8^\circ ; 42,3^\circ ; 46^\circ ; 47,2^\circ ; 48,5^\circ ; 61^\circ$. Kaolinit ($Al_2O_3Si_2$) muncul pada $2\theta = 12,2^\circ ; 27,3^\circ ; 29,5^\circ ; 32^\circ ; 34,8^\circ ; 35,8^\circ ; 37,5^\circ ; 45,2^\circ ; 47,5^\circ ; 48^\circ ; 49,8^\circ ; 55^\circ ; 57,5^\circ ; 75^\circ ; 76,5^\circ$.



Gambar 2. Pola Difraksi Claystone Setelah Aktivasi

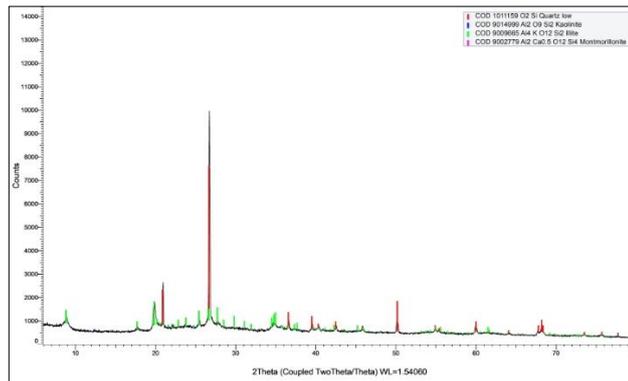
Pola difraksi *claystone* setelah aktivasi (dapat dilihat pada Gambar 2) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan intensitas. Semakin kuatnya intensitas difraksi menunjukkan semakin banyak kristal mineral yang terkandung dalam *claystone*. Pada *claystone* setelah aktivasi juga muncul puncak baru pada $2\theta = 21^\circ ; 26,5^\circ ; 34,5^\circ ; 39,5^\circ ; 40,3^\circ ; 42^\circ ; 46^\circ ; 50^\circ ; 55,5^\circ ; 56,2^\circ ; 60^\circ ; 64^\circ ; 66^\circ ; 68,8^\circ ; 69,3^\circ ; 73,6^\circ ; 75,8^\circ ; 77,8^\circ ; 80^\circ$ (kuarsa).

3.1.2 Zeolit



Gambar 3. Pola Difraksi Zeolit Sebelum Aktivasi
 (Pohan dkk, 2016)

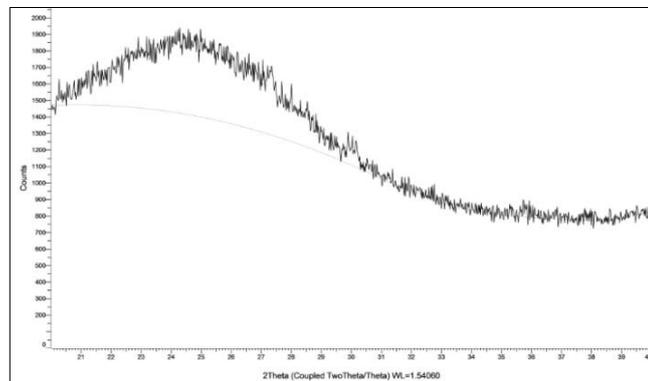
Hasil analisis XRD pada zeolit sebelum aktivasi (dapat dilihat pada Gambar 3) menunjukkan bahwa zeolit alam Klaten mengandung mineral mordenit pada $2\theta = 9,516; 4,516; 4,076; 3,404; 3,269; 2,935; 2,549$ dan klipnotilolit pada $2\theta = 6.808; 5,976; 4,625; 4,353; 3,921; 3,834; 3,535; 3,439$.



Gambar 4. Pola Difraksi Zeolit Setelah Aktivasi

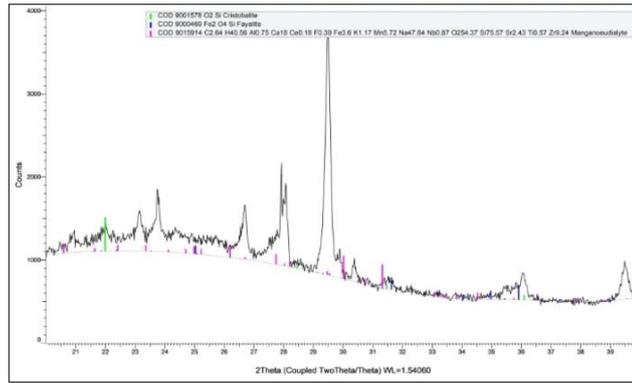
Pola difraksi zeolit teraktivasi HCl menunjukkan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan pada difraktogramnya, namun terjadi peningkatan intensitas puncak yang menunjukkan bahwa proses aktivasi dapat menghilangkan pengotor dalam zeolit sehingga meningkatkan kristalinitasnya.

3.1.3 Arang Aktif Tempurung Kelapa



Gambar 5. Pola Difraksi Arang Tempurung Kelapa

Pola difraksi arang tempurung kelapa (dapat dilihat pada Gambar 5) menunjukkan bahwa puncaknya cenderung melebar dan tidak beraturan, dimana menunjukkan bahwa struktur arang tempurung kelapa dari Bontang adalah amorf.



Gambar 6. Pola Difraksi Arang Aktif Tempurung Kelapa

Pola difraksi arang aktif tempurung kelapa (dapat dilihat pada Gambar 6) menunjukkan bahwa terdapat puncak baru yaitu manganoeudialyte ($C_2 64H_4 56Al_0 75Ca_{18} Ce_0 18F_0 39Fe_3 6K_1 17Mn_5 72Na_{47} 84Nb_0 87O_{254} 37Si_{75} 57Sr_2 43Ti_0 57Zr_0$) teridentifikasi pada $2\theta = 12^\circ ; 22^\circ ; 22,5^\circ ; 23,4^\circ ; 26,2^\circ ; 29,5^\circ ; 30^\circ ; 30,4^\circ ; 31,3^\circ ; 34,6^\circ ; 35,4^\circ ; 35,6^\circ ; 37,6^\circ ; 37,8^\circ ; 38,7^\circ ; 39,7^\circ$. Fayalite (Fe_2O_4Si) teridentifikasi pada $2\theta = 25^\circ ; 29,1^\circ ; 29,3^\circ ; 31,6^\circ ; 34^\circ ; 35^\circ ; 37,3^\circ$. Cristobalite (O_2Si) teridentifikasi pada $2\theta = 22,2^\circ ; 28,4^\circ ; 31,4^\circ ;$ dan $36,1^\circ$.

3.2 Karakterisasi SAA

Komposit dengan 3 perbandingan (C:Z:A) dianalisis dengan SAA untuk menentukan luas permukaan masing-masing komposit:

Komposite A = 50: 25: 25

Komposite B = 25: 25: 50

Komposite C = 25: 50: 25

Uji luas permukaan dilakukan dengan metode BET, dengan hasil seperti Tabel 1

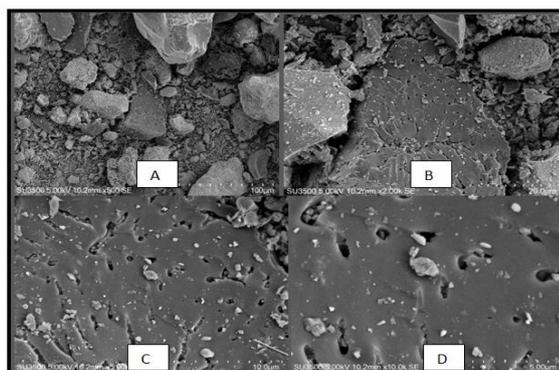
Tabel . Luas permukaan komposit

Komposite	Ukuran pori (nm)	Volume pori (cm ³ /g)	Luas permukaan (m ² /g)
A	6,1804	0,011915	37,9774
B	3,7581	0,022073	62,4423
C	6,5718	0,008740	32,3444

Tabel 1 menunjukkan bahwa komposit B memiliki luas permukaan terbesar (62.4423 m²/g). Komposit B juga memiliki ukuran pori terkecil (3.75808 nm) dan volume pori terbesar (0.022073 cm³/g). Oleh karena itu, komposit B dipilih sebagai adsorben dalam adsorpsi Fe dan Mn dalam AAT.

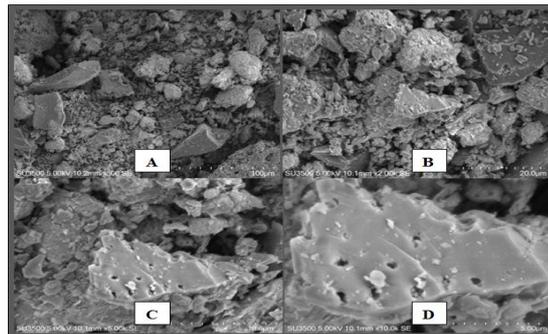
3.3 Karakterisasi SEM

Komposit B diuji dengan SEM-EDX untuk menganalisa morfologi permukaan komposit sebelum dan setelah adsorpsi.



Gambar 7. Morfologi Permukaan Komposit Sebelum Adsorpsi
a.500x perbesaran b.2000x per besaran
c. 5000x perbesaran d.10000x perbesaran

Gambar 7 menunjukkan bahwa komposit memiliki morfologi berpori, yang mengindikasikan bahwa proses aktivasi fisika dan kimia pada adsorben telah berhasil membersihkan pengotor dari permukaan material adsorben. Pori berperan penting dalam penyerapan logam berat.



Gambar 8. Morfologi Permukaan Komposit Setelah Adsorpsi
a.500x perbesaran b.2000x perbesaran
c. 5000x perbesaran d.10000x perbesaran

Gambar 8 menunjukkan bahwa beberapa pori telah tertutup dan jumlah pori tidak sebanyak pori pada komposit sebelum adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa pori-pori dalam komposit telah terisi oleh logam berat yang diserap komposit pada saat proses adsorpsi berlangsung.

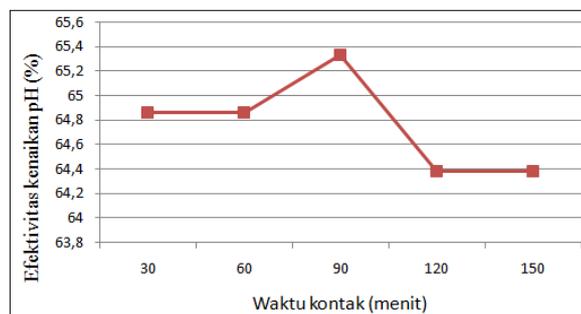
Untuk mendapatkan hasil kuantitatif dari uji SEM, maka dilakukan dengan teknik EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) atau EDX (*Energi Dispersive X-Ray*). EDS dihasilkan dari sinar X karakteristik, yang dilakukan dengan cara menembakkan sinar X pada posisi sesuai keinginan sehingga akan memunculkan puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang ada didalamnya. Berdasarkan hasil EDX pada Tabel 2, diketahui bahwa unsur utama dari komposit adalah karbon (C) dengan persentase kandungan berat sebesar 51,9%. Fe ditemukan dalam jumlah kecil, yaitu 0,4%. Setelah adsorpsi, kandungan Fe dalam komposit meningkat dari 0,4 menjadi 2,4%. Hal ini menunjukkan bahwa komposit telah berhasil menyerap logam Fe dari AAT pada saat proses adsorpsi berlangsung.

Tabel 2. Persentase Berat Unsur Yang Ada Dalam Komposit

Unsur	%berat sebelum adosorpsi (% wt)	%berat setelah adsorpsi (% wt)
C	51,9	79
O	34,6	0
Na	0,8	0,3
Mg	0,2	0,1
Al	2,7	4,3
Si	6,9	11,2
K	0,7	1
Ca	1,7	1,8
Fe	0,4	2,4

3.4 Adsorpsi Fe dan Mn

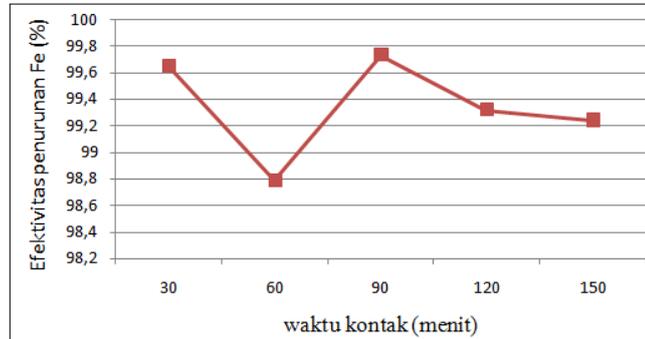
3.4.1 Peningkatan pH setelah adsorpsi



Gambar 9. Efektivitas Kenaikan Ph Setelah Adsorpsi

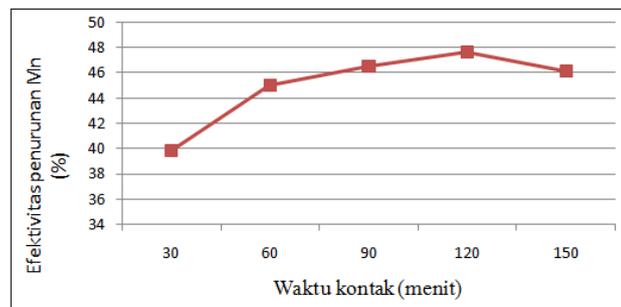
Gambar 9 menunjukkan bahwa dengan massa komposit 5 gram mampu menaikkan pH dengan efektivitas yang tinggi. Efektivitas kenaikan pH pada saat waktu kontak 30 dan 60 menit sebesar 64,86%, 90 menit sebesar 65,33%, 120 dan 150 menit sebesar 64,38%. Rata-rata efektivitas kenaikan pH mencapai 64,76%, dari pH awal 2,6 hingga 7,5. Meningkatnya pH AAT terjadi karena komposit telah berhasil menyerap banyak logam Fe sehingga konsentrasi Fe dalam AAT berkurang. pH AAT akan meningkat seiring berkurangnya konsentrasi Fe dalam AAT. Selain itu, adanya kandungan kation Na, Mg, K dan Ca dalam komposit berpengaruh terhadap peningkatan pH AAT. Hal ini karena kation tersebut merupakan kation basa.

3.4.2 Efektivitas penurunan konsentrasi Fe dan Mn



Gambar 10. Efektivitas Penurunan Konsentrasi Fe

Berdasarkan Gambar 10, efektivitas penurunan Fe pada waktu kontak 30 menit sebesar 99,65% (dari konsentrasi awal 13,006 mg/l menjadi 0,045 mg/l), 60 menit sebesar 98,79% (menjadi 0,1573 mg/l), 90 menit sebesar 99,73% (menjadi 0,0350 mg/l), 120 menit sebesar 99,32% (menjadi 0,0882 mg/l), dan 150 menit sebesar 99,24% (menjadi 0,0988 mg/l). Rata-rata efektivitas penurunan logam Fe pada massa komposit 5 gram sebesar 99,35%, dari konsentrasi awal 13,006 mg/l menjadi 0,035 mg/l. Dari hasil yang diperoleh, terbukti bahwa komposit sangat efektif menurunkan konsentrasi logam Fe dalam AAT. Efektivitas penurunan Fe terbaik yaitu 99,35%



Gambar 11. Efektivitas Penurunan Konsentrasi Mn

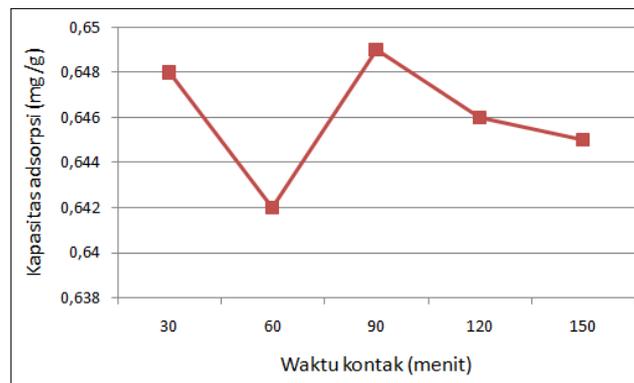
Gambar 11 menunjukkan bahwa efektivitas adsorpsi pada waktu kontak 30 menit sebesar 39,83% (dari konsentrasi awal 30,59 mg/l menjadi 18,406 mg/l), 60 menit sebesar 45,01% (menjadi 16,791 mg/l), 90 menit sebesar 46,58% (menjadi 16,340 mg/l), 120 menit sebesar 47,67% (menjadi 16,007 mg/l), dan 150 menit sebesar 46,19% (menjadi 16,459 mg/l). Rata-rata efektivitas adsorpsinya sebesar 45,06%.

Berdasar hasil percobaan, efektivitas penurunan logam Mn tidak sebesar efektivitas penurunan logam Fe, dimana efektivitas Mn berkisar 44%, sedangkan Fe mencapai 99%. Komposit mampu menurunkan konsentrasi Fe hingga dibawah baku mutu, namun konsentrasi Mn masih diatas baku mutu. Menurut penelitian yang telah dilakukan Kerndoff dan Schnitzer, 1980 dalam Rahmawati & Santoso, 2013 menunjukkan bahwa pada pH 2,4 urutan adsorpsinya sebagai berikut: Hg > Fe > Pb > Cu = Al > Ni > Cr = Zn = Cd = Co = Mn. Selain itu, tabel periodik unsur menunjukkan bahwa keelektronegatifan unsur Fe lebih besar daripada unsur Mn, sehingga hasil percobaan penelitian ini menunjukkan persentase penyerapan logam Fe lebih besar daripada logam Mn. Urutan kemampuan penyerapan ion dalam air akibat adanya selektivitas ion terhadap media adsorben yaitu Fe³⁺ > Al³⁺ > Pb²⁺ > Ba²⁺ > Sr²⁺ > Zn²⁺ > Cu²⁺ > Fe²⁺ > Mn²⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > NH₄⁺ > H⁺ > Li⁺. Oleh karena itu, sesuai selektivitas ion tersebut maka dalam penelitian ini menunjukkan bahwa Fe lebih kuat teradsorpsi daripada Mn. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang

telah dilakukan oleh Stumm dan Morgan, 1981 dalam Gobel, 2018 yang menunjukkan bahwa penyerapan logam Mn terlarut dari suatu larutan dapat dicapai pada kondisi pH tinggi, dan penyerapan Mn akan berjalan lambat pada pH kurang dari 8.

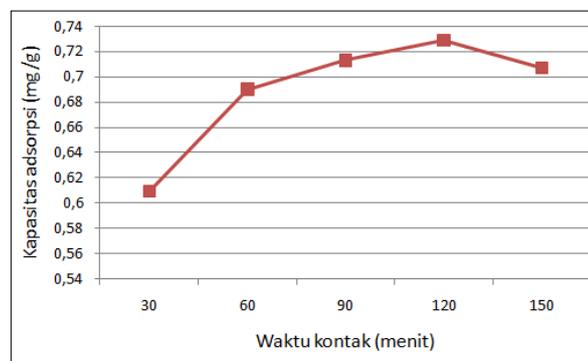
3.4.2 Kapasitas adsorpsi

Kapasitas adsorpsi adalah jumlah logam berat yang dapat diserap oleh tiap gram adsorben. Berdasarkan uji adsorpsi dengan 250 ml AAT, 5 gram komposit, dan waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150 menit, maka kapasitas adsorpsi komposit dapat dilihat pada gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Kapasitas Adsorpsi Komposit Terhadap Logam Fe

Berdasarkan Gambar 12, kapasitas adsorpsi pada waktu kontak 30 menit adalah 0,648 mg/g, 60 menit kapasitas adsorpsinya 0,642 mg/g, 90 menit kapasitas adsorpsinya 0,649 mg/g, 120 menit kapasitas adsorpsinya 0,646 mg/g, 150 menit kapasitas adsorpsinya 0,645 mg/g. Kapasitas adsorpsi setelah 30 menit mengalami penurunan, yang mengindikasikan bahwa komposit mulai jenuh sehingga penyerapan Fe nya tidak sebanding dengan penambahan waktu kontak adsorpsi.



Gambar 13. Kapasitas Adsorpsi Komposit Terhadap Mn

Berdasarkan Gambar 13, kapasitas adsorpsi terhadap logam Mn 0,609 mg/g (pada waktu kontak 30 menit), 0,690 mg/g (pada waktu kontak 60 menit), 0,713 mg/g (pada waktu kontak 90 menit), 0,729 mg/g (pada waktu kontak 120 menit), kemudian turun menjadi 0,707 mg/g. Kapasitas adsorpsi tidak mengalami peningkatan signifikan setelah waktu kontak 60 menit. Hal ini sesuai dengan hasil AAS logam Mn pada waktu kontak 60 menit telah mengalami kejenuhan, sehingga penyerapan yang terjadi tidak sebanding dengan penambahan waktu kontak.

IV. KESIMPULAN

Claystone dari material overburden batubara, zeolit, dan arang aktif tempurung kelapa merupakan adsorben berbiaya rendah untuk mengurangi konsentrasi Fe dan Mn dalam AAT. Komposit terbaik dihasilkan oleh perbandingan 25% *claystone*, 25% zeolit, dan 50% arang aktif tempurung kelapa. Komposit berhasil menurunkan konsentrasi Fe sehingga memenuhi baku mutu, walaupun konsentrasi Mn masih diatas baku mutu. Waktu kontak optimum untuk Fe adalah 30 menit dengan efektivitas 99,35% sedangkan untuk Mn adalah 60 menit dengan efektivitas 45,06%. Efektivitas penurunan konsentrasi logam Mn tidak sebesar efektivitas logam Fe, dimana efektivitas Mn 44% sedang Fe mencapai 99%. Kapasitas adsorpsi komposit terhadap Fe adalah 0,648 mg/g dan Mn 0,690 mg/g.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Era dan Raymond yang telah memfasilitasi pengambilan sampel AAT dari Bontang Kalimantan Timur

DAFTAR PUSTAKA

- Balintova, M., Holub, M., Stevulova, N., Cigasova, J., & Tesarcikova, M. 2014. *Sorption in acidic environment–biosorbents in comparison with commercial adsorbents*. *Chemical Engineering*, 39.
- Catri, C. R. 2016. The Effectiveness of Natural Zeolite as Metal Absorbent Copper (II) in Pool Water With Coloumn Adsorption Method.. *Jurnal Penelitian Saintek*, 21(2), 87-95.
- Gobel, A. P. 2018. Efektifitas pemanfaatan fly ash batubara sebagai adsorben dalam menetralsir air asam tambang pada settling pond penambangan banko PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 2(1), 1-11.
- Kerndorff, H., dan Schnitzer, M., 1980, “Sorption of Metals on Humic Acid”, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44 : 1577-1581.
- Li, W., Peng, J., Zhang, L., Yang, K., Xia, H., Zhang, S., & Guo, S. H. 2009. Preparation of activated carbon from coconut shell chars in pilot-scale microwave heating equipment at 60 kW. *Waste management*, 29(2), 756-760.
- Mukarrom, F., Karsidi, R., Gravitiani, E., Astuti, F., & Maharditya, W. 2020. *The assessment of claystone, quartz and coconut shell charcoal for adsorbing heavy metals ions in acid mine drainage*. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 858, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.
- Musso, T. B., Parolo, M. E., Pettinari, G., & Francisca, F. M. 2014. Cu (II) and Zn (II) adsorption capacity of three different clay liner materials. *Journal of environmental management*, 146, 50-58.
- Nwosu, F. O., Ajala, O. J., Owoyemi, R. M., & Raheem, B. G. 2018. *Preparation and characterization of adsorbents derived from bentonite and kaolin clays*. *Applied Water Science*, 8(7), 195
- Patterer S., Bavasso I., Sambeth J., Medici F., 2017, Cadmium removal from aqueous solution by adsorption on spent coffee grounds, *Chemical Engineering Transactions*, 60, 157-162 DOI: 10.3303/CET1760027
- Pranoto, Martini, T., Astuti, F., & Maharditya, W. 2020. *Test The Effectiveness and Characterization of Quartz Sand/Coconut Shell Charcoal Composite as Adsorbent of Manganese Heavy Metal*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 858. 012041. 10.1088/1757-899X/858/1/012041.
- Rahmawati, Atik & Santosa, Sri. 2013. Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Dan Cd(II) Pada Asam Humat Dalam Medium Air. *ALCHEMY*. 10.18860/al.v0i0.2296.
- Roca, Y. B., & Fuentes, W. S. 2019. Use of Nanoclay as an Adsorbent to Remove Cu (ii) from Acid Mine Drainage (amd). *Chemical Engineering Transactions*, 73, 241-246.
- Tan, I. A. W., Abdullah, M. O., Lim, L. L. P., & Yeo, T. H. C. 2017. *Surface modification and characterization of coconut shell-based activated carbon subjected to acidic and alkaline treatments*. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 4(2), 186-194.