



Uji Efektivitas dan Karakterisasi Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe)

Pranoto Pranoto*, Tri Martini, Winda Maharditya

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan Surakarta 57126 Telp (0271)663375

*Corresponding author

E-mail: pakpranotomipa@staff.uns.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.16.1.33286.50-66

Received 2 August 2019, Accepted 19 February 2020, Published 1 March 2020

ABSTRAK

Penelitian ini untuk mengetahui kapasitas adsorpsi komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa sebagai adsorben logam berat besi (Fe) berdasarkan pada kondisi komposisi, pH dan waktu kontak yang optimum. Tanah andisol diaktivasi dengan larutan NaOH 3 M dan arang tempurung kelapa diaktivasi menggunakan larutan HCl 4 M. Komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa dibuat dengan mencampurkan tanah andisol dan arang tempurung kelapa pada variasi komposisi 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 dan 0:100 (b/b) Uji adsorpsi terhadap logam besi (Fe) dilakukan pada variasi pH larutan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 serta waktu kontak 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, dan 60 menit dengan sistem *batch*. Pengukuran konsentrasi akhir pada saat kesetimbangan dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Hasil karakterisasi adanya proses aktivasi dan pengompositan ditunjukkan pada spektra *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) yang mengalami pergeseran bilangan gelombang. Karakterisasi pola difraksi *X-Ray Diffraction* (XRD) yang menunjukkan adanya puncak baru. Hasil analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) komposit menunjukkan bahwa permukaan adsorben telah ditutupi logam besi (Fe). Pembentukan komposit juga menunjukkan adanya peningkatan luas permukaan dan nilai keasaman komposit. Berdasarkan penelitian ini diperoleh bahwa proses adsorpsi terjadi pada kondisi optimum komposisi komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b), pH larutan besi (Fe) 5 dan waktu kontak selama 30 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,54 mg/g dan presentase adsorpsi 91,57%. Isoterm adsorpsi mengikuti isoterm Freundlich dengan nilai R^2 sebesar 0,9456.

Kata kunci: adsorpsi, arang tempurung kelapa, logam besi (Fe), tanah andisol

ABSTRACT

Effectiveness Test and Characterization of Andisol Soil/Coconut Shell Charcoal for Adsorption of Iron (Fe). This research aims to determine the adsorption capacity composite of andisol soil and coconut shell charcoal as the adsorbent of iron (Fe) metal based on the composition condition, pH, and optimum contact time. Andisol soil was activated with NaOH 3 M solution, and coconut shell charcoal was activated with HCl 4 M solution. The composites were made under various composition of andisol soil/coconut shell charcoal of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 (w/w). The adsorption test was done on the pH variation of 1, 2, 3, 4, 5, 6 and used the contact time variation of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 and 60 minutes in a batch method. The concentration analysis of iron (Fe) metal was done by atomic absorption spectroscopy (AAS). The characterization result of the activation process can be shown on the Fourier transform infrared (FTIR) spectra with the shifting peak. Characterization of X-ray diffraction (XRD) diffractogram showed the emergence of a new peak in andisol soil and coconut shell charcoal. The result of

scanning electron microscope (SEM) characterization analysis showed that the surface of the adsorbent was covered in iron. The composite formation also showed an increase in surface area and composite acidity value. Based on the result of the research, it can be concluded that the adsorption process happens in the optimum condition in andisol soil/coconut shell charcoal composition of 75:25 (w/w), pH solution iron (Fe) metal of 5 and contact time of 30 minutes. The adsorption capacity was 0.54 mg/g and 91.57% for adsorption percentage. The isotherm adsorption followed Freundlich isotherm with R^2 values 0.9456.

Keywords: adsorption, andisol clays, charcoal, metal (Fe)

PENDAHULUAN

Tanah andisol adalah merupakan tanah abu vulkanik yang banyak dijumpai di beberapa pegunungan Pulau Jawa seperti Gunung Papandayan, Gunung Wilis dan Gunung Arjuna pada ketinggian sekitar 700-1500 m di atas permukaan laut yang memiliki kondisi iklim agak dingin dan lebih basah daripada di dataran rendah (Munir, 1996). Tanah andisol mempunyai sifat-sifat khas seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Darmawijaya (1990) yang menyatakan bahwa tanah andisol memiliki total porositas yang tinggi, daya pengikat air yang sangat tinggi, ketahanan strukturnya tinggi sehingga mudah diolah. Berdasarkan penelitian Pranoto *et al.* (2013) tanah andisol dapat digunakan sebagai adsorben dalam menjerap beberapa logam berat terutama besi (Fe) karena memiliki luas permukaan yang besar dengan gugus-gugus fungsional aktif yang bersifat amfoter seperti aluminol (Al-OH). Tanah andisol Gunung Lawu mampu menyerap logam logam Cd sebesar 0,30 mg/g (Kusumastuti, 2014).

Adapun Arang tempurung kelapa merupakan produk yang diperoleh dari pembakaran terhadap tempurung kelapa yang mengandung unsur karbon. Cheremisinoff and Ellerbusch (1980) menyatakan bahwa komposisi kimia arang tempurung kelapa yaitu 26,60% selulosa; 29,40% lignin; 27,70% pentose; 4,20% solven ekstrak 3,50% uronat anhidrit; 0,62% abu; 0,11% nitrogen dan 8,01% air. Arang tempurung kelapa dapat digunakan sebagai adsorben, karena arang tempurung memiliki senyawa karbon amorf yang mempunyai permukaan pori sangat luas, dan kandungan abu yang sedikit. Hal ini dapat menghilangkan kelembaban karena kandungan volatil berkurang, sehingga dapat dijadikan sebagai adsorben logam besi (Fe). Akan tetapi suatu adsorben tanpa diberi perlakuan awal terlebih dahulu apabila diaplikasikan sebagai adsorben memberikan hasil yang kurang maksimal. Hal ini disebabkan karena adanya pengotor sehingga pori-pori yang dimilikinya sering tidak seragam. Adsorben dapat ditingkatkan aktivitasnya dengan aktivasi baik secara fisika maupun kimia.

Aktivasi terhadap tanah andisol dilakukan dengan penambahan larutan NaOH 3M yang bertujuan untuk merombak lapisan permukaan tanah andisol yang berbentuk granula.

Pengotor hilang menyebabkan gugus-gugus aktif seperti Si-OH dan Al-OH yang berpori dan amorf muncul ke permukaan tanah andisol sehingga menyebabkan luas permukaan menjadi besar. Pranoto *et al.* (2013) menyebutkan bahwa tanah andisol teraktivasi NaOH dapat menjerap ion logam besi (Fe) sebesar 0,25 mg/g. Aktivasi juga dilakukan terhadap arang tempurung kelapa dengan penambahan larutan HCl 4M yang bertujuan untuk membuka dan menambah pori-pori pada arang tempurung kelapa. Bertambahnya jumlah pori-pori arang tempurung kelapa akan meningkatkan luas permukaan serta gugus aktif hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH). Hal ini menyebabkan gugus-gugus aktif tersebut dapat berinteraksi dengan logam berat Fe dan menghasilkan kapasitas adsorpsi yang besar. Nurhasni *et al.* (2012) menunjukkan bahwa arang tempurung kelapa teraktivasi HCl dapat menyerap logam Fe sebesar 0,24 mg/g.

Komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa dilakukan untuk peningkatan kapasitas adsorpsi. Besarnya luas permukaan pada tanah andisol akan mengoptimalkan kinerja dari arang tempurung kelapa untuk menjerap logam berat besi (Fe), yang nantinya arang tempurung kelapa diharapkan akan bergabung menjadi satu ke dalam dinding pori tanah andisol sehingga akan menyebabkan luas permukaan komposit meningkat dan gugus aktif dari tanah andisol Si-OH dan Al-OH serta gugus aktif dari arang tempurung kelapa -OH dan-COOH akan bertambah. Oleh karena itu, adanya pengompositan adsorben dari tanah andisol/arang tempurung kelapa diharapkan dapat memberikan daya jerap adsorpsi yang lebih tinggi daripada daya jerap adsorpsi sebelum dilakukan pengompositan. Pada penelitian ini, penulis menitikberatkan dalam pembuatan komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa teraktivasi sebagai adsorben logam berat Fe dengan kapasitas yang tinggi.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah andisol gunung Lawu pada ketinggian 1200 m diatas permukaan laut, arang tempurung kelapa Klaten, NaOH p.a (Merck), HCl p.a (Merck), CH₃COOH p.a (Merck), CH₃COONa p.a (Merck), HNO₃ pekat (Merck), amonia p.a (Merck), kertas saring (Whatman 42), kertas pH indikator universal, serbuk KCl (E. Merck), dan serbuk glysine (E. Merck). Peralatan yang digunakan adalah *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) (Shimadzu tipe AA-6650 F), *Surface Area Analyzer* (SAA) (Quantachrome instrument tipe nova 1200 e), *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR) (Shimadzu type FT-IR-8201 PC), *X-Ray Diffraction* (XRD) (Shimadzu type 600), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Preparasi Adsorben

Tanah andisol dicuci dengan air kemudian dikeringkan. Setelah tanah andisol kering dihaluskan, kemudian diayak sehingga diperoleh ukuran butir lolos ayakan 150 *mesh*. Serbuk yang lolos 150 *mesh* direndam dalam akuades, disaring dan dikeringkan pada suhu 105 °C selama 4 jam (Firmansyah *et al.*, 2016). Serbuk tanah andisol yang telah kering kemudian dilakukan identifikasi menggunakan pH meter dengan larutan NaF. Tempurung kelapa diletakkan dalam cawan porselin kemudian di bakar dalam *furnace* pada suhu 400 °C. selama 1 jam. Sesudah itu arang tempurung kelapa di *grinding*, diayak dengan ayakan ukuran 170 *mesh* (Rahayu *et al.*, 2014).

Aktivasi Adsorben

Sebanyak 50 g tanah andisol dicampur dengan 250 mL larutan NaOH 3 M. Campuran distirer pada suhu 70 °C selama 5 jam kemudian didinginkan, disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH netral. Selanjutnya, tanah andisol teraktivasi dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 4 jam dan dicuci dengan akuades sampai pH netral (Firmansyah *et al.*, 2016). Sesudah itu tanah andisol teraktivasi dianalisis menggunakan FTIR dan XRD.

Sebanyak 50 g tempurung kelapa di rendam dengan 100 mL larutan HCl 4M 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 dan dianalisis dengan FTIR, XRD (Nurhasni *et al.*, 2012).

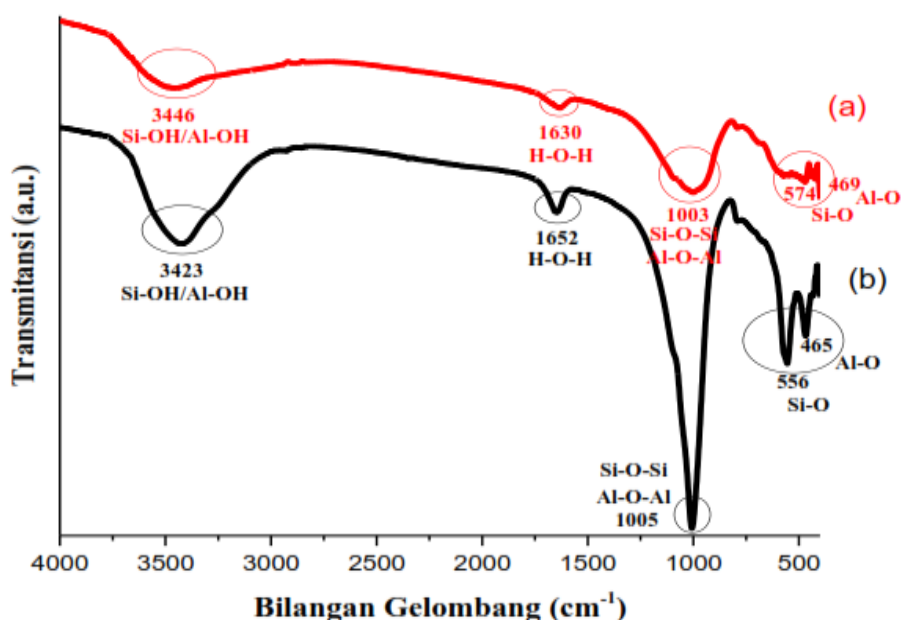
Uji Efektivitas Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa

Sebanyak 0,1 g komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa ditambahkan 10 mL larutan model besi (Fe) 6 ppm dengan variasi komposisi (w/w) dalam persen 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100 lalu menggunakan variasi kondisi pH larutan adalah 1, 2, 3, 4, 5, dan 6. Sesudah itu di *shaker* dengan variasi waktu kontak 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, dan 60 menit. Campuran yang diperoleh kemudian disaring dengan kertas saring Whatman 42. Larutan yang diperoleh diukur volume sesudah adsorpsi dan diukur konsentrasi logam besi (Fe) dengan AAS Kinerja adsorben komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa dapat diketahui dengan membuat kurva hubungan antara massa adsorben dengan prosentase logam berat yang teradsorp. Setelah diperoleh komposisi komposit, pH dan waktu pada kondisi terbaik maka dilakukan adsorpsi logam besi (Fe) dengan komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivasi Tanah Andisol

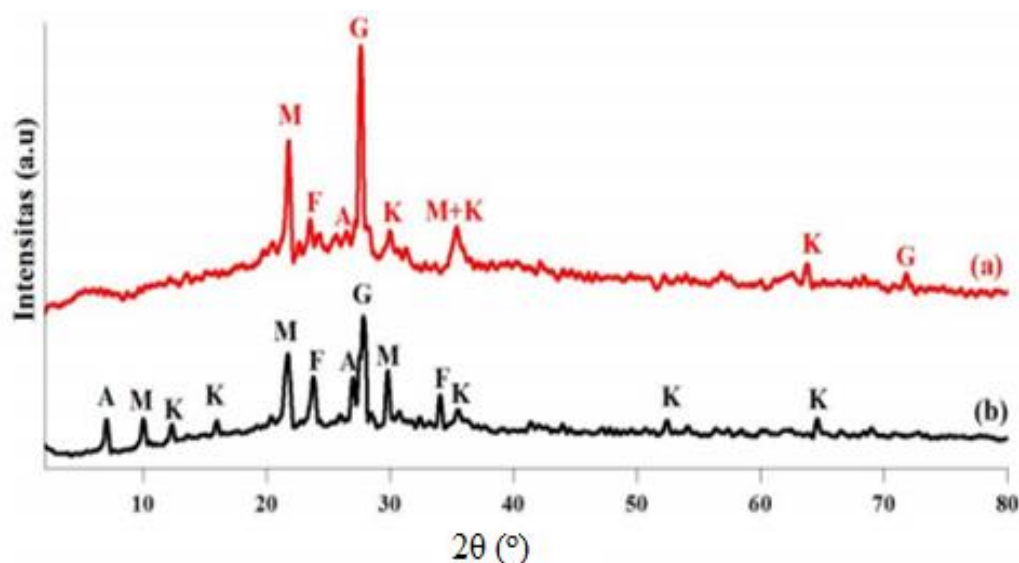
Pengaruh aktivasi tanah andisol dapat diamati melalui spektra FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan spektra FTIR pada Gambar 1 tanah andisol sesudah aktivasi mengalami pergeseran bilangan gelombang dari 3446 cm^{-1} menjadi 3423 cm^{-1} yang menunjukkan serapan OH *stretch* dengan mengalami pelebaran puncak (Silverstein and Webster, 2000). Hal ini menunjukkan pada spektra FTIR bahwa aktivasi telah melarutkan pengotor sehingga menghasilkan vibrasi yang kuat dengan pergeseran panjang gelombang 574 dan 1000 cm^{-1} . Berdasarkan hasil data FTIR menunjukkan bahwa pada tanah andisol memiliki gugus aktif berupa Si-OH dan Al-OH.



Gambar 1. Spektra FTIR Tanah Andisol sebelum aktivasi (a) sesudah aktivasi (b)

Analisis terhadap kandungan mineral tanah andisol dilakukan dengan XRD. Hasil analisis XRD dari tanah andisol menunjukkan adanya kandungan beberapa jenis mineral diantaranya gipsit, alofan, monmorilonit, kaolinit dan feldspars yang dibuktikan dengan munculnya puncak-puncak difraksi pada 2θ seperti yang ditunjukkan Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, tanah andisol aktif mengandung jenis mineral alofan (JCPDS 38-0449) sesuai dengan 2θ sebesar $7,11$ dan $26,99^\circ$, gipsit (JCPDS 07-0324) pada 2θ sebesar $27,91^\circ$; $52,43^\circ$; dan $64,56^\circ$, kaolinit (JCPDS 80-0886) pada 2θ sebesar $12,29^\circ$; $15,94^\circ$; dan $35,45^\circ$, monmorilonit, (JCPDS 02-0014) pada 2θ sebesar $10,03^\circ$; $21,83^\circ$; dan $29,83^\circ$; serta feldspars (JCPDS 84-0710) pada 2θ sebesar $23,87^\circ$; dan $34,05^\circ$. Perbandingan

difraktogram sesudah aktivasi menunjukkan adanya pergeseran beberapa puncak dan penurunan intensitas serta munculnya puncak baru. Munculnya puncak baru terjadi karena telah larutnya pengotor akibat proses aktivasi. Larutnya pengotor akan membuka pori-pori pada permukaan tanah andisol dan menyebabkan struktur mineral penyusunnya berubah. Selain itu, terjadi penurunan intensitas dari masing-masing kandungan mineral menunjukkan bahwa struktur kristal menjadi kurang teratur (amorf).



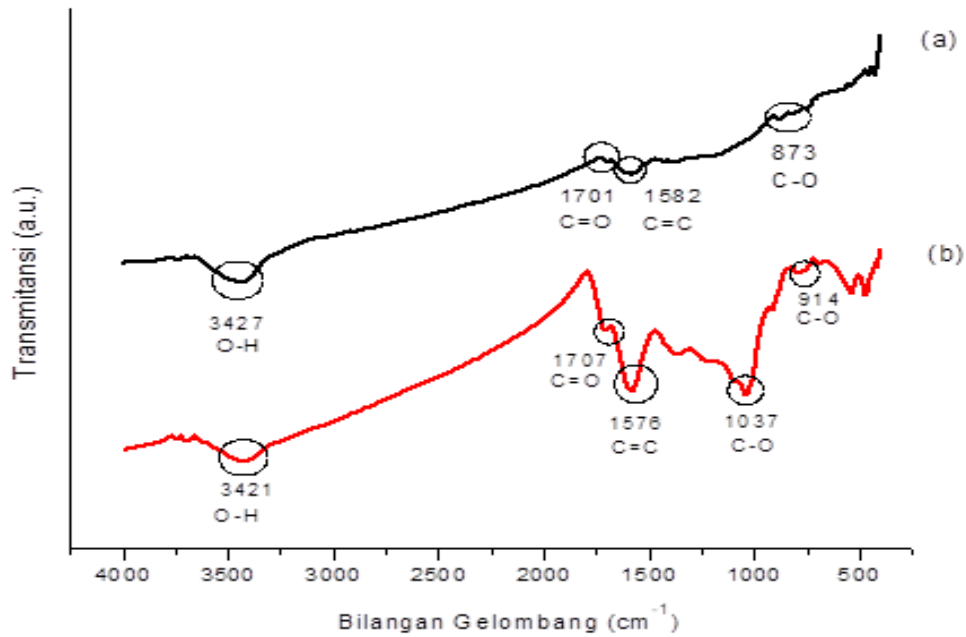
Gambar 2. Difraktogram tanah andisol sebelum aktivasi (a) dan tanah andisol sesudah aktivasi (b). Keterangan: A=Alofan, K=Kaolinit, M=Montmorilorit, G=Gibsit, F=Feldspars.

Aktivasi dan Karakterisasi Arang Tempurung Kelapa

Aktivasi dilakukan menggunakan larutan asam kuat HCl karena ion Cl^- dari asam HCl berperan penting dalam melarutkan pengotor sehingga adsorbat lebih mudah berinteraksi dengan situs aktif ($-\text{OH}$ dan $-\text{COOH}$) yang terdapat pada arang tempurung kelapa. Reaksi ion Cl^- dengan pengotor ditunjukkan dalam persamaan (1).

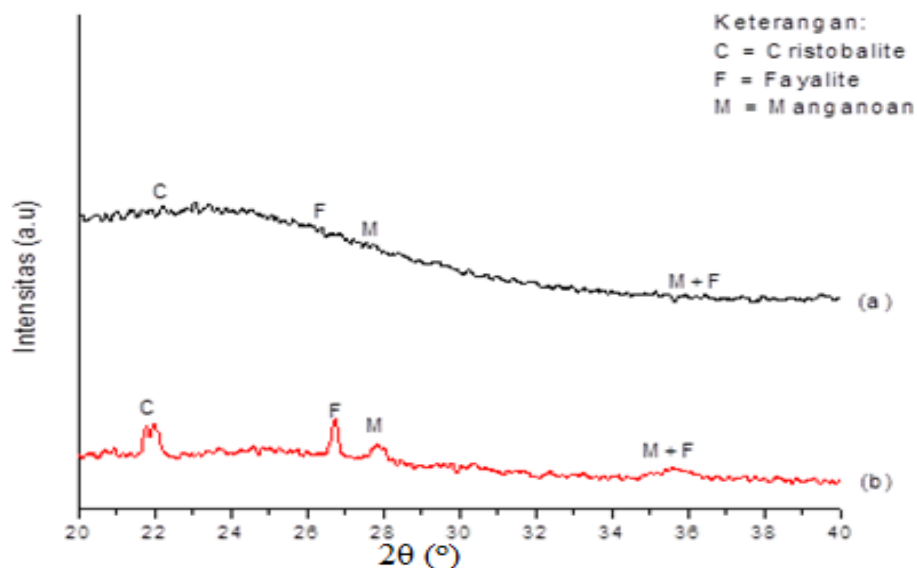


Data spektra FTIR pada Gambar 3 menunjukkan adanya beberapa perbedaan antara arang tempurung kelapa sebelum dan sesudah aktivasi seperti pergeseran bilangan gelombang dari 3427 cm^{-1} menjadi 3421 cm^{-1} yang menunjukkan daerah serapan vibrasi OH dengan mengalami pelebaran puncak walau tidak signifikan.



Gambar 3. Spektra FTIR arang tempurung kelapa sebelum (a) dan sesudah aktivasi (b).

Serapan C=O, C=C dan C–O sesudah aktivasi terlihat lebih tajam yang menandakan adanya peningkatan serapan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada proses aktivasi, aktivator HCl mampu melarutkan pengotor sehingga situs aktif seta luas permukaan arang tempurung kelapa akan semakin meningkat. Seiring dengan meningkatnya situs aktif dan luas permukaan maka kapasitas adsorpsi juga akan semakin meningkat. Analisis serapan khas arang tempurung kelapa telah dibuktikan dengan identifikasi menggunakan FTIR yang kemudian dapat diperkuat dengan data XRD seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram arang tempurung kelapa sebelum (a) dan sesudah aktivasi (b).

Difraktogram arang tempurung kelapa diidentifikasi dengan ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*). Hasil analisis XRD arang tempurung kelapa sebelum maupun sesudah aktivasi menunjukkan kandungan mineral diantaranya pada $2\theta = 21,91^\circ$ *crystalite*, $26,72^\circ$ *fayalite* dan $27,86^\circ$ *manganoan* yang dibuktikan dengan munculnya puncak-puncak difraksi pada 2θ seperti pada Gambar 4. Puncak difraksi arang tempurung kelapa sebelum aktivasi ditunjukkan pada $2\theta = 24,22^\circ$ yang merupakan mineral *crystalite* sedangkan pada puncak difraksi arang tempurung kelapa setelah aktivasi ditunjukkan pada $2\theta = 21,91^\circ$ (*crystalite*), $26,72^\circ$ (*fayalite*), $27,86^\circ$ (*manganoan*) dan $35,84^\circ$ (*manganoan* dan *fayalite*). Perbandingan difraktogram dari arang sesudah aktivasi menunjukkan adanya puncak baru. Munculnya puncak baru walau tidak signifikan disebabkan karena telah larutnya pengotor oleh aktivator akibat adanya proses aktivasi. Larutnya pengotor akan membuka pori-pori pada permukaan arang tempurung kelapa dan menyebabkan bertambahnya kandungan mineral sehingga akan meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap logam besi (Fe).

Analisis Luas Permukaan dengan SAA

Analisis luas permukaan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar luas permukaan adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi dengan logam berat besi (Fe). Luas permukaan ini akan menyediakan luasan area pada permukaan adsorben saat proses adsorpsi dengan logam Fe. Semakin besar luas permukaan adsorben, maka semakin meningkat pula kemampuan adsorpsinya. Hasil pengujian luas permukaan spesifik tanah andisol sebelum diaktivasi, tanah andisol sesudah diaktivasi, arang tempurung kelapa sebelum diaktivasi, arang tempurung kelapa sesudah diaktivasi dan komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas permukaan Adsorben

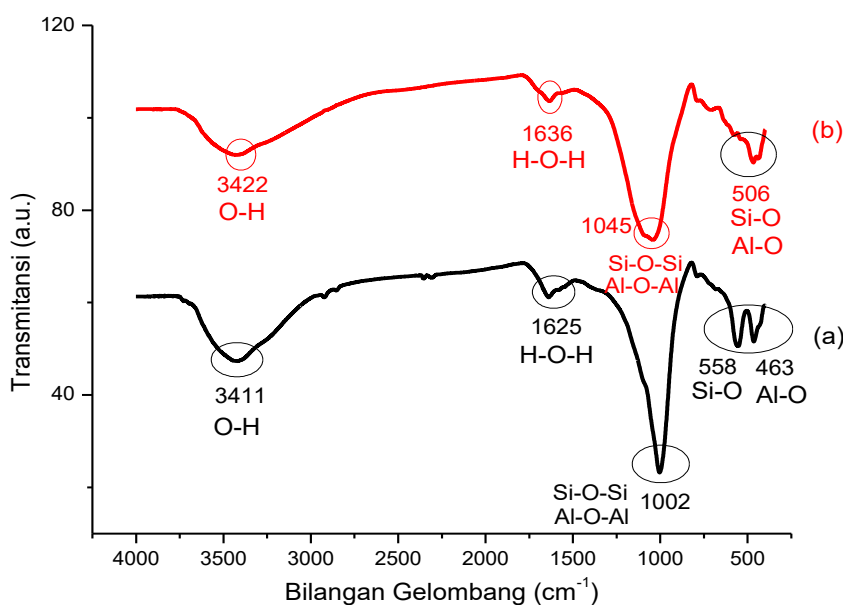
No.	Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)
1.	Tanah Andisol	53,145
2.	Tanah Andisol Aktif	101,569
3.	Arang Tempurung Kelapa	27,579
4.	Arang Tempurung Kelapa Aktif	51,420
5.	Komposit Tanah Andisol Aktif dan Arang Tempurung Kelapa Aktif 75:25 (b/b)	149,201

Berdasarkan data pada Tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa luas permukaan tanah andisol teraktivasi lebih besar daripada arang tempurung kelapa teraktivasi. Perbedaan ini dimungkinkan adanya perbedaan kandungan mineral dari kedua material tersebut karena tanah andisol mengandung mineral yang bersifat amorf. Mineral amorf akan mempunyai

luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan mineral kristalin sehingga luas permukaannya dimungkinkan semakin besar.

Karakterisasi Komposit Adsorben Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa 75:25 (b/b) Sebelum dan Sesudah Adsorpsi

Analisis FTIR bertujuan untuk mengetahui adanya kemungkinan interaksi antara logam besi dengan gugus fungsional setelah terjadinya proses adsorpsi. Hal tersebut dapat dilihat dengan adanya pergeseran bilangan gelombang pada spektra FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 5.

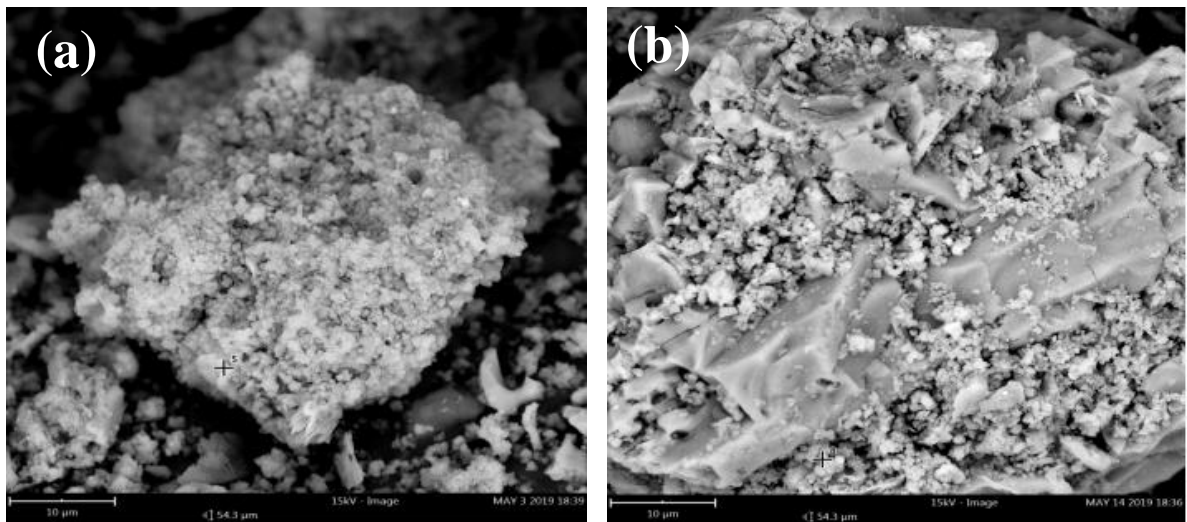


Gambar 5. Spektra FTIR komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) sebelum adsorpsi (a) dan sesudah adsorpsi (b).

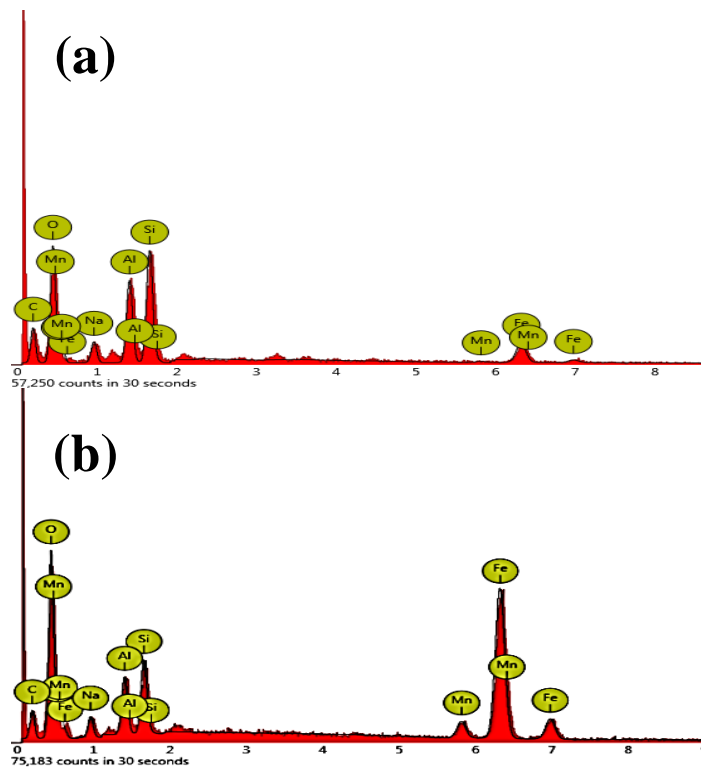
Berdasarkan perbandingan serapan FTIR komposit adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi, dapat diperoleh informasi adanya beberapa pergeseran bilangan gelombang. Berdasarkan Gambar 5 terjadi pergeseran serapan gugus hidroksil ($-OH$) dari 3411 cm^{-1} menjadi 3422 cm^{-1} . Selain itu, terjadi pergeseran daerah 1625 cm^{-1} menjadi 1636 cm^{-1} yang merupakan vibrasi $C=C$ serta daerah 1002 cm^{-1} menjadi 1045 cm^{-1} yang merupakan vibrasi $C-O$ atau $Si-O-Si$ dengan intensitas yang lebih pendek. Selain itu terjadi pergeseran daerah $558-463\text{ cm}^{-1}$ menjadi 506 cm^{-1} yang merupakan vibrasi tekuk $Si-O/Al-O$. Adanya pergeseran dikarenakan adanya gugus aktif dari komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) yang berinteraksi dengan logam berat besi (Fe). Namun selama proses adsorpsi diperkirakan hanya terjadi secara fisika melalui gaya *Van der Waals* yang sangat lemah, logam besi (Fe) hanya terperangkap pada permukaan adsorben sehingga tidak

terbentuk ikatan baru yang akan mempengaruhi gugus aktif dari komposit tanah andisol dan arang tempurung kelapa.

Analisis SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan untuk mengamati morfologi permukaan adsorben sebelum dan setelah adsorpsi. Hasil uji SEM ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Morfologi komposit adsorben tanah andisol:arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) sebelum adsorpsi (a) dan sesudah adsorpsi (b).



Gambar 7. Hasil Uji SEM-EDX komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) sebelum adsorpsi (a) dan setelah adsorpsi (b).

Berdasarkan hasil morfologi pada Gambar 6 terdapat adanya perbedaan pada penampakan permukaannya. Morfologi sebelum adsorpsi cenderung memiliki ruang kosong (Gambar 6a) yang memungkinkan logam besi (Fe) untuk melewati dan mengisi ruang yang terdapat pada permukaan adsorben. Hasil sesudah adsorpsi terlihat bahwa pori-pori pada permukaan adsorben menjadi lebih tertutup dan tidak beraturan (Gambar 6b) yang dimungkinkan karena permukaan adsorben telah ditutupi logam besi (Fe). Pengujian dengan EDX dilakukan untuk membuktikan bahwa logam besi (Fe) benar telah teradsorpsi oleh adsorben yang ditunjukkan pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa komposit sebelum adsorpsi mengandung logam berat Fe. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya kandungan logam besi dari tanah andisol. Menurut Rahayu *and* Adhitiyawarman (2014) keberadaan mineral besi sangat melimpah di kerak bumi, termasuk pada batuan dan di dalam tanah. Besi yang berada dalam tanah terbentuk sebagai ferioksida (Fe_2O_3) (Febrina dan Astrid, 2015). Kandungan besi (Fe) pada komposit setelah adsorpsi menunjukkan adanya peningkatan sebesar 21,0% yang mengindikasikan bahwa komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) terbukti mampu menyerap logam besi (Fe).

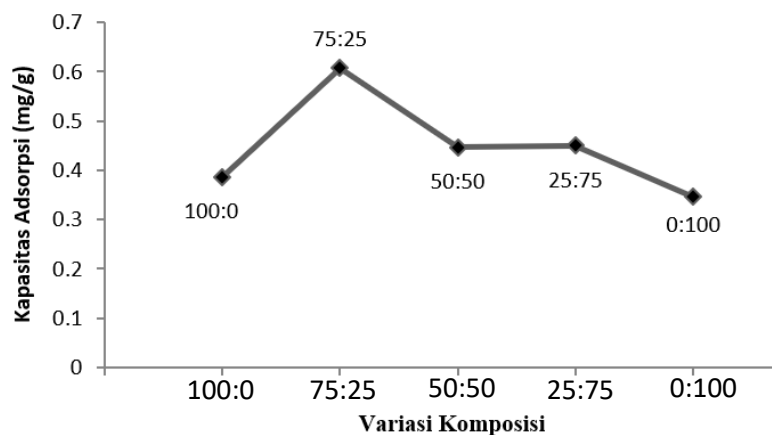
Tabel 2. Kandungan unsur dalam komposit adsorben hasil analisis SEM-EDX

No.	Adsorben	Kandungan Unsur %				
		Si	Al	O	C	Fe
1.	Komposit Tanah Andisol:Arang Tempurung Kelapa Sebelum Adsorpsi	26,9	2,0	65,1	4,4	0,5
2.	Komposit Tanah Andisol:Arang Tempurung Kelapa Sesudah Adsorpsi	13,3	8,7	31,8	22,9	21,0

Uji Kinerja Adsorben terhadap Larutan Model Logam Fe

Optimasi Komposisi Adsorben

Optimasi komposisi dilakukan pada kondisi pH larutan optimum 5 dengan waktu kontak 60 menit dengan perbandingan tanah andisol/arang tempurung kelapa 100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100 (b/b). Hasil pengujian pengaruh komposisi adsorben terhadap kapasitas adsorpsi logam besi (Fe) ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa kondisi optimum adsorben terhadap penyerapan logam Fe yaitu komposisi komposit tanah andisol dan arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) dengan kapasitas adsorpsi 0,56 mg/g dan persentase penyerapan 93,36%



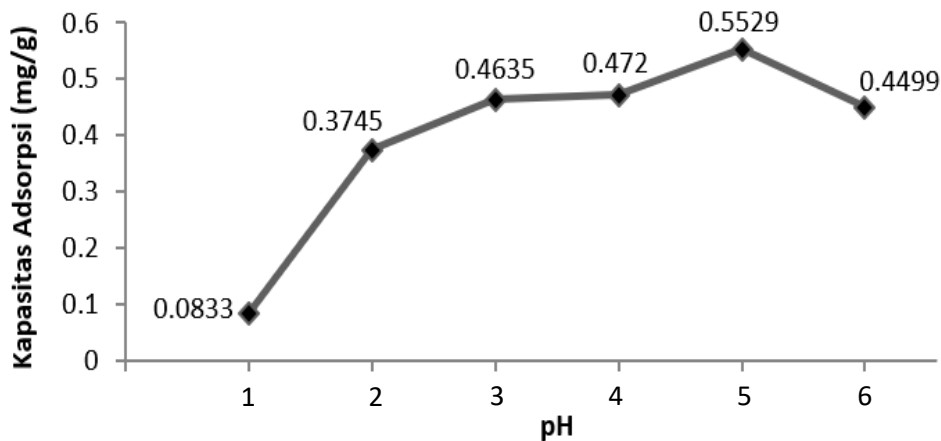
Gambar 8. Grafik Pengaruh Komposisi Terhadap Kapasitas Adsorpsi Adsorben Komposit Tanah Andisol dan Arang Tempurung Kelapa

. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa masing-masing komponen dalam campuran adsorben yaitu tanah andisol dan arang tempurung kelapa keberadaannya saling mendukung satu sama lain dalam mengadsorpsi logam besi (Fe). Hal ini dikarenakan pada komposisi komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) luas permukaan pada bidang jerapan semakin besar sehingga campuran adsorben mampu menyediakan situs aktif yang lebih banyak. Komposisi campuran adsorben 75:25 (b/b) yang dapat memiliki situs aktif lebih banyak akan menyebabkan interaksi gugus aktif dengan logam Fe akan meningkat sehingga kapasitas adsorpsinya semakin besar. Apabila dibandingkan, kapasitas adsorpsi dari masing-masing komponen adsorben cenderung lebih rendah dibandingkan dengan campuran kedua komponen adsorben karena rendahnya ketersediaan gugus aktif.

Optimasi Variasi pH

Hasil uji pengaruh pH larutan model Fe terhadap kapasitas adsorpsi disajikan pada Gambar 9. Berdasarkan pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa semakin tinggi pH maka semakin besar kapasitas adsorpsinya. Menurut Buhani *et al.* (2010), pada pH rendah proses adsorpsi tidak dapat berjalan dengan maksimal. Pada pH rendah, permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H^+ sehingga permukaan adsorben menjadi lebih bermuatan positif karena terjadi protonasi. Keadaan ini mengakibatkan penurunan kapasitas adsorpsi karena terjadi tolak menolak antara muatan positif logam dengan permukaan adsorben. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kondisi optimum pH dalam adsorpsi logam Fe menggunakan komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) yaitu pada pH 5 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,55 mg/g dan presentase 92,15%. Hal ini didukung oleh penelitian (Apriyanti *et al.*, 2018) yang menyatakan bahwa kondisi optimum adsorpsi

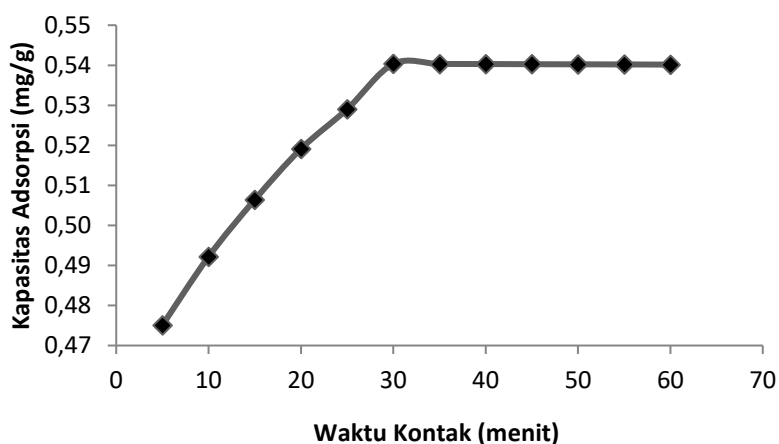
logam besi (Fe) terjadi pada pH 5. Pada pH 5, ion hidrogen yang terdapat dalam larutan relatif sedikit sehingga gugus aktif yang terdapat pada adsorben akan mudah berikatan dengan logam besi. Akan tetapi, pada pH 6 mengalami penurunan kapasitas adsorpsi yang menunjukkan bahwa larutan Fe mulai mengalami pengendapan membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang ditandai dengan adanya warna kuning pada larutan sehingga proses adsorpsi sulit terjadi.



Gambar 9. Grafik pengaruh variasi pH larutan Fe terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe

Optimasi Variasi Waktu Kontak

Optimasi waktu kontak dilakukan dengan variasi waktu kontak yaitu 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 dan 60 menit pada larutan model Fe pH 5 dengan komposisi komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75 : 25 (b/b). Optimasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan adsorben untuk dapat menyerap logam berat Fe secara optimum. Hasil pengujian optimasi variasi waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi larutan dapat dilihat pada Gambar 10.

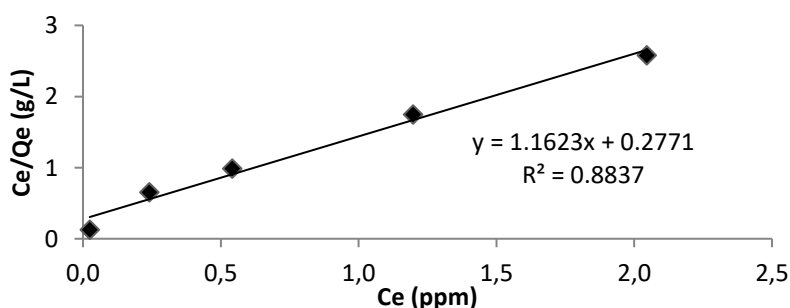


Gambar 10. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Fe pada Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa 75:25 (b/b)

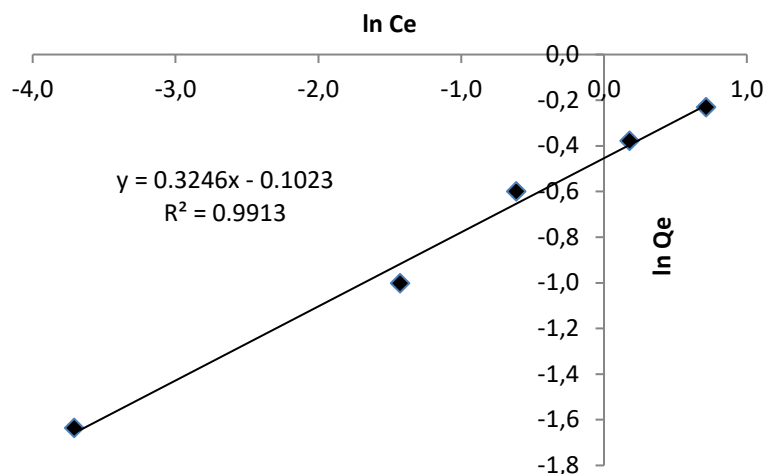
Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Namun apabila waktu kontak telah cukup maka kapasitas adsorpsinya akan stabil. Waktu kontak 5 menit lebih rendah kapasitas adsorpsinya dibandingkan pada 30 menit. Hal ini dikarenakan pada waktu kontak 5 menit tersebut, gugus fungsi pada adsorben belum maksimal untuk berinteraksi dengan logam Fe, sehingga belum banyak gugus fungsi yang mengadsorpsi logam Fe (Safrianti *et al.*, 2012). Waktu kontak optimum yang dicapai untuk mengadsorpsi logam Fe menggunakan komposisi komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) yaitu selama 30 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,54 mg/g dan presentase adsorpsi sebesar 90,06%. Hal ini menandakan bahwa pada waktu tersebut telah terjadi kesetimbangan adsorpsi antara konsentrasi adsorbat yang diserap dengan konsentrasi adsorbat yang tersisa dalam larutan (Arivoli *et al.*, 2013). Hasil optimum waktu kontak komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) terhadap adsorpsi logam Fe didukung dari penelitian yang dilakukan oleh Pranoto *et al.*, (2013), yang menyatakan bahwa menggunakan adsorben alofan dengan waktu kontak optimum logam Fe dicapai pada 30 menit.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Analisis isoterm dilakukan menggunakan adsorben pada kondisi optimum yaitu komposit tanah andisol:arang tempurung kelapa 75:25 (b/b) pada kondisi pH 5 dengan waktu kontak 30 menit terhadap variasi konsentrasi larutan Fe sebesar 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm. Jenis isoterm yang sesuai ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi (R^2) yang ditunjukkan pada grafik persamaan linier dari masing-masing kurva isoterm. Isoterm adsorpsi yang memiliki persamaan linier dengan nilai R^2 mendekati atau sama dengan 1 (satu), maka dapat disimpulkan bahwa jenis isoterm adsorpsi mengikuti persamaan tersebut. Kurva isoterm Langmuir dan Freundlich untuk logam Fe dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Kurva Isoterm Langmuir.



Gambar 12. Kurva Isoterm Freundlich.

Berdasarkan Gambar 11 diperoleh nilai persamaan linier untuk isoterm Langmuir adalah $y = 1,1623x + 0,2771$ dengan nilai R^2 sebesar 0,8837. Isoterm Langmuir ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi antara adsorben dan adsorbat terjadi secara kimia yaitu pada permukaan adsorben terdapat situs-situs aktif bersifat homogen yang akan berinteraksi dengan logam Fe dengan membentuk suatu senyawa. Proses adsorpsi Langmuir menunjukkan bahwa interaksi antara permukaan adsorben dengan logam Fe sifatnya terbatas pada pembentukan lapisan tunggal (*monolayer*) (Balarak, 2016).

Berdasarkan Gambar 12 diperoleh nilai persamaan linier untuk isoterm Freundlich adalah $y=0,3246x-0,1023$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9913. Isoterm Freundlich ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara fisika dimana situs-situs aktif pada adsorben bersifat heterogen. Logam Fe menempel pada pori-pori permukaan adsorben yang bermuatan negatif melalui gaya *Van der Waals*. Adapun gaya *Van der Waals* dapat terjadi karena logam Fe yang bermuatan positif akan berinteraksi dengan atom O pada Si-OH yang memiliki parsial negatif sehingga jarak antara logam Fe dan atom O lebih dekat akibat adanya dipol-dipol, meskipun interaksinya lemah. Interaksi terjadi dengan cara logam menempel pada pori-pori adsorben tanpa membentuk ikatan atau berinteraksi dengan energi ikat yang lemah melalui gaya *Van der Waals*. Adanya gaya tarik menarik yang lemah tersebut menyebabkan adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben sehingga dapat membentuk lapisan *multilayer* (Pranoto *et al.*, 2013).

KESIMPULAN

Proses aktivasi tanah andisol dan arang tempurung kelapa dapat melarutkan pengotor yang ada pada material. Adanya pengompositan material aktif akan meningkatkan luas permukaan dan terbukanya situs aktif yang dapat ditunjukkan dengan karakterisasi, pada spektra FTIR tanah andisol sesudah aktivasi dan arang tempurung kelapa sesudah aktivasi. Komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa mengalami kenaikan intensitas pita transmitansi, pola difraksi XRD menunjukkan adanya penurunan intensitas. Munculnya puncak baru pada tanah andisol sesudah aktivasi, peningkatan nilai keasaman dan luas permukaan pada tanah andisol sesudah aktivasi, arang tempurung kelapa sesudah aktivasi dan komposit tanah andisol/arang tempurung kelapa menunjukkan ketersediaan situs aktif Si–OH, Al–OH dan Si–O–Si. Komposit adsorben tanah andisol/arang tempurung kelapa dapat mengadsorpsi logam Fe dengan kondisi terbaik pada komposisi tanah andisol/arang tempurung kelapa 75:25 (b/b). Kondisi terbaik pada pH 5 dan waktu kontak selama 30 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,54 mg/g dan presentase adsorpsi 91,57%. Jenis isoterm adsorpsi komposit adsorben kondisi terbaik terhadap logam Fe mengikuti sistem isoterm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,90 mg/g. Sebagai saran penelitian ini, perlu dilakukan uji coba adsorben dengan aplikasi langsung pada cemaran logam berat Fe terhadap jenis logam berat lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diucapkan pada grup Alofan yang telah bekerja keras untuk terselesaikan pengembangan adsorben alofan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti, H., Candra, I.N., and Elvinawati, E., 2018. Karakterisasi Isoterm Adsorpsi dari Ion Logam Besi (Fe) Pada Tanah Di Kota Bengkulu. *Alotrop* 2(1), 14-19.
- Arivoli, S., Marimuthu, V., and Jahangir, A.R.M., 2013. Kinetics of Batch Adsorption of Iron (II) Ions from Aqueous Solution using Activated Carbon from *Strychnos Nux-Vomica L.* *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4(12), 407-417.
- Balarak, D., 2016. Kinetics Isotherm and Thermodynamics Studies on Bisphenol a Adsorption using Barley Husk. *International Journal of ChemTech Research* 9(5), 681-690.
- Buhani, N., and Nuryono, E.S.K., 2009. Hibrida Amino-silika dan Merkapto-Silika Sebagai Adsorben untuk Adsorpsi Ion Cd (II) dalam Larutan. *Indonesian Journal of Chemistry* 9(2), 170-176. Doi: 10.22146/ijc.21525

- Cheremisinoff, P.N. and Ellerbusch, F., 1980. *Carbon Adsorption Handbook*. Second Printing. Ann Arbor Science Publishers., USA.
- Darmawijaya, I., 1990. *Klasifikasi Tanah: Dasar – Dasar Teori Bagi Penelitian Tanah dan Pelaksanaan Penelitian*. UGM Press, Yogyakarta.
- Febrina, L. and Astrid, A., 2015. Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknologi* 7(1), 35-44. Doi: 10.24853/jurtek.7.1.35-44
- Firmansyah, F., Pranoto., and Inayati., 2016. Kajian Efektivitas Pengolahan Air Minum Sesuai Permenkes Menggunakan Adsorben Lempung Bandig Andisol dalam Menjerat Logam Berat Kadmium (Cd) Dan Bakteri Patogen. *Jurnal Ekosains* 7(4), 16-25.
- Kusumastuti, I. 2014. *Pemanfaatan Alofan Aktif-Asam Humat untuk Pembuatan Adsorben Terhadap Ion Logam Besi (Fe)*. Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Munir. 1996. *Tanah-Tanah Utama Indonesia*. Pustaka Jaya., Jakarta.
- Nurhasni, Firdiyono, F., and Sya'ban, Q., 2012. Penyerapan Ion Alumunium dan Besi dalam Larutan Sodium Silikat menggunakan Karbon Aktif. *Jurnal Kimia Valensi* 2(4), 516-525.
- Pranoto, Suranto, Sugiyarto, K.H., and Ashadi. 2013. Javanese Volcanic Allophane Adsorben as Heavy Metal Adsorben to Improve the Quality of Drinking Water in Surakarta. *Journal of Enviroment and Earth Science* 3(5), 48-56.
- Rahayu, A.N., and Adhitiyawarman, 2014. Pemanfaatan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Besi pada Air Tanah. *Jurnal Kimia Khatulistiwa* 3(3), 7-13.
- Rahayu, L.H., Purnavita, S., and Sriyana, H.Y., 2014. Potensi Sabut dan Tempurung Kelapa sebagai adsorben untuk Meregenerasi Minyak Jelantah. *Majalah Ilmiah Momentum* 10(1), 47-53. Doi: 10.36499/jim.v10i1.964
- Safrianti, I., Wahyuni, N., and Zaharah, T. 2012. Adsorpsi Timbal (II) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat, Pengaruh pH dan Waktu Kontak. *Jurnal Kimia Khatulistiwa* 1(1), 1-7.
- Silverstein, R.M. and Webster, F.X., 2000. *Spectrometric Identification of Organic Compound*, 6th edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.