

Sinergisme campuran tanah andisol dan pasir foundry sebagai adsorben ion Cu (II) pada limbah industri pelapisan logam

Pranoto Pranoto, Abu Masykur, Rania Satwika Putri Prihanandya

© Penulis 2022

Abstract: Research has been carried out on the synergism of a mixture of andisol soil and foundry sand as Cu(II) ion adsorbent. This study aims to determine the effect of mixing andisol soil and foundry sand on the absorption of Cu (II) ions and to study the type of isotherm and its adsorption kinetics model. The adsorbent was activated with 3 M NaOH. The acidity of the adsorbent was analyzed using the specific total acidity test method. The final concentration of Cu (II) ions was analyzed using AAS (Atomic Absorption Spectroscopy). The optimum adsorption conditions were obtained based on variations in composition, pH, and contact time. The adsorbent was made with variations in the composition of andisol: foundry sand 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 (w/w). The effect of adsorption conditions was carried out by varying the pH of the copper (Cu) solution from 3-7. The effect of contact time was varied at 15-135 minutes with 15 Minute intervals.

The characterization results show that the activation process succeeded in removing impurities contained in the andisol soil and foundry sand as indicated by a shift in the wave number in the FTIR (Fourier Transform Infrared) spectra, changes in crystallinity in the XRD (X-Ray Diffraction) diffractogram, the adsorbent surface that has been covered. Cu (II) ion in SEM-EDX (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive) characterization. The mixing of andisol soil and foundry sand also increases the surface area based on the results of the SAA (Surface Area Analyzer) analysis. The elemental content was analyzed using XRF (X-Ray fluorescence). Based on the research that has been done, the optimum conditions for Cu (II) ion adsorption are obtained at the ratio of the composition of the soil mixture andisol:foundry sand 75:25 (w/w) at pH 6 and a contact time of 90 minutes with an adsorption capacity of 3.839 mg/g and adsorption percentage of 94.55%. The type of adsorption isotherm tends to follow the Langmuir isotherm and its adsorption kinetics are pseudo-second order.

Keywords: adsorption, andisol soil, foundry sand, Cu (II) ion

Pendahuluan

Adanya logam berat pada suatu lingkungan dapat dikatakan berbahaya jika melebihi ambang batas yang ditentukan. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah menyatakan bahwa kadar maksimal tembaga dalam air limbah industri pelapisan logam sebesar 0,5 mg/L, sementara kadar tembaga dalam air limbah industri cat sebesar 0,6 mg/L. Metode untuk mengurangi logam Cu dari limbah cair diantaranya adsorpsi dengan adsorben, filtrasi membran, elektrokimia, dan fotokatalisis (Al-Saydeh *et al.*, 2017). Metode yang umum digunakan adalah adsorpsi, karena biayanya relatif murah, preparasinya sederhana, dan efisien (Kadja dan Ilmi, 2019).

P. Pranoto* | A. Masykur | R. S. P. Prihanandya

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

*e-mail: pakpranotomipa@staff.uns.ac.id (*corresponding author*)

Tanah andisol yang melimpah di Indonesia dapat dimanfaatkan menjadi adsorben logam berat, salah satunya logam berat tembaga (Cu). Adanya gugus fungsi aluminol dan silanol membuat andisol memiliki sifat pertukaran kation dan anion, serta keasaman yang baik (Pranoto *et al.*, 2019; Pranoto *et al.*, 2018).

Luas permukaan alofan sebesar 237 m²/g, sehingga baik digunakan sebagai adsorben (Silva-Yumi *et al.*, 2018). Tanah andisol dari gunung Lawu mampu menyerap ion Cu(II) dengan kapasitas adsorpsi 0,37 mg/g dengan persentase adsorpsi 99,43 % (Pranoto *et al.*, 2018). Selain itu komposit andisol dan lempung bekonang juga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben ion logam Cu (II) pada limbah cair dengan kapasitas adsorpsi 17,38 mg/g dengan persentase adsorpsi 91,57 % (Pranoto *et al.*, 2018).

Pemanfaatan tanah andisol dapat dioptimalkan dengan penambahan pasir foundry. Pasir foundry merupakan hasil dari bongkaran cetakan pengecoran logam yang bahan penyusun utamanya adalah pasir silika, sementara sisanya adalah zat pengikat contohnya bentonit (Strkalj *et al.*, 2016). Setelah digunakan biasanya limbah ini dibuang begitu saja di penampungan limbah pada lahan terbuka di sekitar tempat pengolahan. Selain itu limbah juga ada yang dibuang di pemukiman warga untuk diambil besi yang tidak terpakai pada pengolahan tersebut. Masyarakat biasanya memanfaatkan limbah tersebut untuk meninggikan lahan atau digunakan sebagai urugan pada pembangunan rumah. Pasir foundry memiliki kandungan SiO₂ sebesar 66,90 % dan Al₂O₃ sebesar 12,78 % (Amin, 2015). Pasir foundry dapat digunakan sebagai adsorben karena keberadaan silika dalam komposisinya, dimana gugus Si-OH dan -OH dalam pasir foundry berperan penting untuk menjerap logam berat (Saad *et al.* 2020). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 menyatakan bahwa limbah pasir foundry sudah bukan lagi B3. Maka dari itu pasir foundry dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, karena tidak berbahaya dan beracun bagi lingkungan. Štrkalj *et al.*, (2015) berhasil mengaplikasikan pasir foundry sebagai adsorben murah untuk mengurangi kadar ion Cu (II) di lingkungan dengan kapasitas adsorpsi 2,466 mg/g.

Pencampuran tanah andisol dan pasir foundry dapat menggabungkan gugus aktif pada adsorben, sehingga diharapkan dapat memberikan persentase dan kapasitas adsorpsi yang lebih baik dibandingkan sebelum dicampurkan. Berdasarkan penjabaran di atas, maka dapat dilakukan penelitian pembuatan suatu adsorben dari campuran tanah andisol dan pasir foundry untuk mengadsorpsi ion logam Cu (II).

Metode

1. Preparasi Adsorben

Tanah andisol dan pasir *foundry* dicuci dan dikeringkan. Tanah andisol dan pasir *foundry* kering digerus dan diayak. Serbuk yang telah lolos ayakan direndam dalam akuades, lalu disaring dan dikeringkan selama 4 jam pada suhu 105 °C (Campos *et al.*, 2013; Pranoto *et al.*, 2019).

2. Aktivasi Adsorben

Aktivasi tanah andisol dilakukan dengan menambahkan 50 gram tanah andisol ke dalam 250 mL NaOH 3 M dan diaduk pada temperatur 70 °C selama 5 jam. Tanah andisol dicuci sampai pHnya netral. Tanah andisol dikeringkan dalam oven selama 4 jam pada temperatur 105 °C. Tanah andisol yang telah kering diayak dengan ayakan 150 mesh (Pranoto *et al.*, 2020). Aktivasi pasir *foundry* dilakukan dengan menambahkan 50 gram pasir *foundry* ke dalam NaOH 3 M dan diaduk pada temperatur 70 °C selama 5 jam. Pasir *foundry* dicuci sampai pHnya netral. Pasir *foundry* dikeringkan dengan oven pada suhu 105 °C selama 4 jam (Balbay, 2019; Mashifana dan Sithole, 2020). Pasir yang telah kering diayak dengan ayakan 150 mesh.

3. Pembuatan Campuran Tanah Andisol/Pasir *Foundry*

Komposisi adsorben tanah andisol:pasir *foundry* divariasi 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100 (b/b). Campuran ditambahkan akuades dan disonikasi selama 1 jam. Campuran dikeringkan dalam oven pengering selama 4 jam pada temperatur 105 °C, kemudian digerus dan diayak dengan ayakan 150 mesh (Pranoto *et al.*, 2018).

4. Karakterisasi Adsorben

a. Uji NaF

Tanah andisol sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam gelas beker, lalu ditambahkan 50 mL NaF 1 M dan diaduk hingga homogen. Campuran yang telah homogen diukur pHnya dengan pH meter (Rois dan Pranoto, 2018).

b. Uji keasaman total spesifik

Krus kosong ditimbang, kemudian krus dimasukkan adsorben 0,5 gram ke dalam desikator yang didalamnya telah berisi ammonia. Desikator ditutup dan didiamkan 24 jam. Krus diambil dan ditimbang (Latupeirissa *et al.*, 2018; Widihati *et al.*, 2010).

5. Uji Kinerja Adsorben Terhadap Ion Cu(II)

a. Penentuan komposisi optimum

Sebanyak 0,05 gram campuran tanah andisol dan pasir *foundry* dengan variasi 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, dan 100:0 dimasukkan ke dalam masing-masing gelas kimia yang berisi 10 mL larutan Cu 20 ppm dan diaduk selama 60 menit. Larutan disaring dan filtratnya diuji menggunakan AAS.

b. Penentuan pH optimum

Sebanyak 0,05 gram campuran tanah andisol : pasir *foundry* 75:25 (b/b) dimasukkan ke dalam gelas kimia berisi 10 mL larutan Cu 20 ppm dengan variasi pH 3, 4, 5, 6, dan 7 dan diaduk selama 60 menit. Larutan disaring dan filtratnya diuji menggunakan AAS.

c. Penentuan waktu kontak optimum

Sebanyak 0,05 gram campuran tanah andisol dan pasir *foundry* 25:75 (b/b) dimasukkan ke dalam gelas kimia berisi 10 mL larutan Cu 20 ppm dengan variasi waktu 15 - 135 menit, dengan interval waktu 15 menit. Larutan disaring dan filtratnya diukur menggunakan AAS. Hasil optimasi waktu kontak dapat digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi.

6. Penentuan Isoterm Adsorpsi

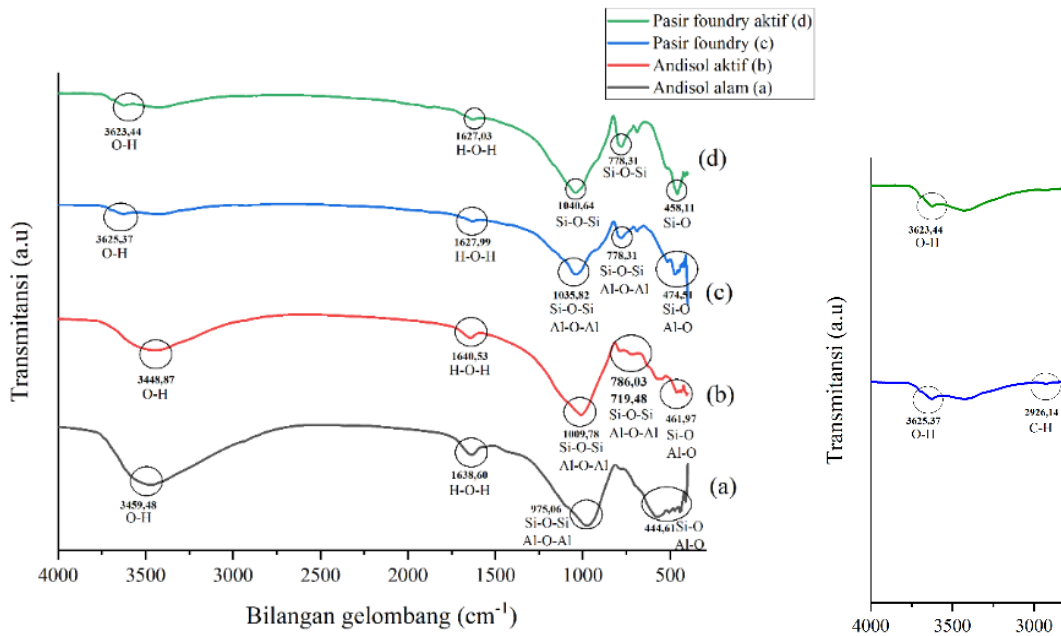
Sebanyak 0,05 gram adsorben pada kondisi optimum ditambahkan masing-masing 10 mL larutan Cu yang divariasi konsentrasi 17, 19, 21, 23, dan 25 ppm. Campuran diaduk selama waktu optimum. Hasil adsorpsi disaring dan filtratnya diuji menggunakan AAS. Hasil yang diperoleh dianalisis dengan isoterm Langmuir dan Freundlich (Pranoto *et al.*, 2018).

Hasil dan Pembahasan

A. Identifikasi, Aktivasi, dan Karakterisasi Tanah Andisol dan Pasir *Foundry*

1. Analisis FT-IR Tanah Andisol dan Pasir *Foundry*

Tanah andisol dan pasir *foundry* yang telah diayak, kemudian diaktivasi untuk melarutkan pengotor yang masih tersisa pada tahap preparasi. Aktivasi yang dilakukan adalah aktivasi kimia menggunakan NaOH. Proses larutnya pengotor mengakibatkan pori-pori terbuka, sehingga memudahkan proses adsorpsi ion Cu (II) oleh adsorben. Pengotor yang biasanya terdapat pada andisol adalah asam humat yang lebih mudah larut dalam kondisi basa dibandingkan asam (Pranoto *et al.*, 2019). Proses aktivasi tanah andisol dan pasir *foundry* diamati dengan analisis FTIR yang dipaparkan pada Gambar 1. Munculnya gugus fungsi Si-O-Si atau Al-O-Al ulur simetri ($786,03\text{ cm}^{-1}$ dan $719,48\text{ cm}^{-1}$) pada andisol aktif akibat pengotor yang larut, sehingga pori-pori terbuka dan gugus fungsi tersebut dapat terbaca. Hilangnya gugus -C-H pada pasir *foundry* setelah aktivasi menandakan bahwa pengotor organik dapat larut.



Gambar 1. Spektra FT-IR tanah andisol sebelum aktivasi (a) dan setelah aktivasi (b), serta pasir *foundry* sebelum aktivasi (c) dan setelah aktivasi (d)

2. Analisis XRF Tanah Andisol dan Pasir *Foundry*

Kandungan utama tanah andisol dan pasir *foundry* diketahui melalui karakterisasi menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF) yang ditunjukkan pada Tabel 1. Tanah andisol dan pasir *foundry* memiliki kandungan utama SiO₂ yang nantinya akan berperan sebagai gugus silanol dalam proses adsorpsi.

Tabel 1. Hasil Uji XRF Tanah Andisol dan Pasir *Foundry*

Unsur	Kandungan (%)			
	Tanah Andisol	Tanah Andisol Aktif	Pasir <i>Foundry</i>	Pasir <i>Foundry</i> Aktif
Si	29,60	40,40	54,30	61,50
Al	19,00	14,00	9,90	-
Fe	33,30	28,3	25,00	26,50
Ca	6,37	9,69	5,89	6,38
K	2,88	4,08	2,16	2,38
Ti	1,84	1,59	1,52	1,77
Lainnya	7,01	1,94	1,23	1,47

3. Analisis Andisol menggunakan NaF

Penciri suatu tanah terdapat alofan dapat ditentukan menggunakan NaF. Apabila pH >9,4 maka tanah tersebut memiliki kandungan alofan. Tingginya nilai pH dapat disebabkan karena melimpahnya gugus Al/Fe-OH sebagai penyusun tanah (Valle *et al.*, 2015). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah pH 11,39, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat kandungan alofan di dalam tanah andisol. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada persamaan reaksi 1.



4. Analisis Keasaman Total Spesifik

Analisis keasaman total spesifik dilakukan untuk mengetahui pengaruh keasaman terhadap kapasitas adsorpsi. Jumlah ammonia yang terjerap oleh adsorben menunjukkan jumlah situs asam yang terdapat dalam material adsorben (Trisunaryanti *et al.*, 2010). Hasil pengujian keasaman total spesifik masing-masing komponen adsorben disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Keasaman Total Spesifik Adsorben

No	Sampel	Keasaman (mmol/g)
1	Tanah andisol	3,29
2	Tanah andisol aktif	4,47
3	Pasir <i>foundry</i>	2,47
4	Pasir <i>foundry</i> aktif	2,77
5	Campuran andisol/pasir <i>foundry</i> 75:25 (b/b)	5,24

Hasil uji keasaman total menunjukkan bahwa keasaman tanah andisol dan pasir *foundry* meningkat setelah dilakukan aktivasi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya situs aktif yang dimiliki oleh adsorben tersebut, sehingga dapat dikatakan tanah andisol dan pasir *foundry* mampu bersinergi untuk meningkatkan keasaman. Setelah dilakukannya proses aktivasi pada tanah andisol dan pasir *foundry*, pengotor-pengotor yang semula menutupi gugus aktif dapat larut sehingga permukaan adsorben lebih bersih dan memudahkan adsorben berinteraksi dengan ion Cu(II).

5. Karakterisasi Luas Permukaan

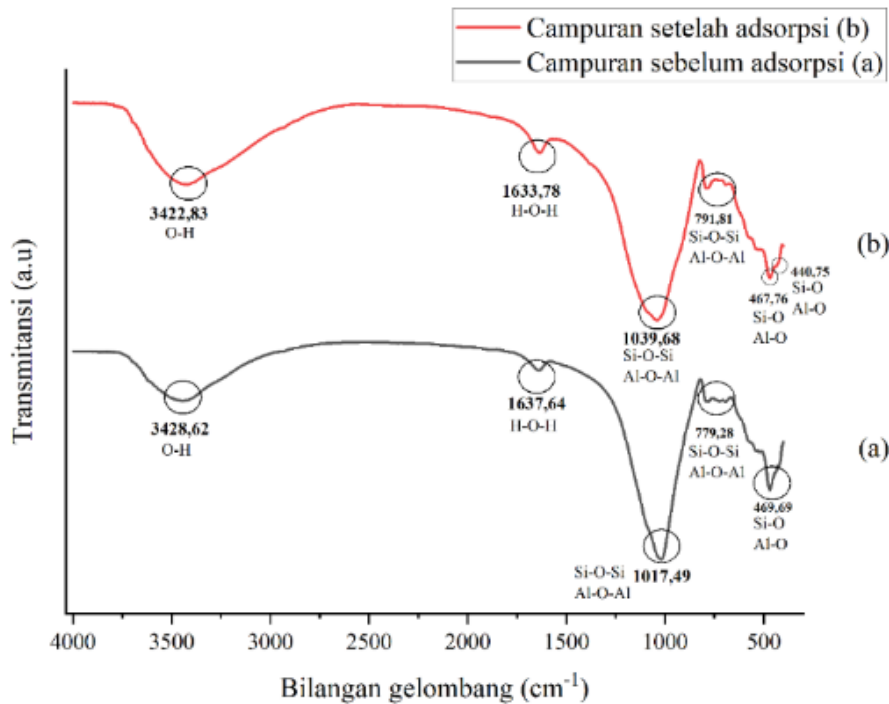
Analisis luas permukaan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar luas permukaan adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi dengan ion logam Cu(II). Hasil uji luas permukaan ditunjukkan pada Tabel 3, sehingga dapat diketahui bahwa luas permukaan campuran tanah andisol/pasir *foundry* lebih besar dibandingkan masing-masing komponen setelah aktivasi. Hal ini menandakan tanah andisol dan pasir *foundry* saling bersinergi dalam meningkatkan luas permukaan.

Tabel 3. Hasil Uji Luas Permukaan

No	Sampel	Luas Permukaan (m ² .g ⁻¹)
1	Tanah andisol aktif	23,331
2	Pasir <i>foundry</i> aktif	0,574
3	Tanah andisol/pasir <i>foundry</i> 75:25 (b/b)	23,758

6. Analisis FT-IR Sebelum dan Setelah Adsorpsi

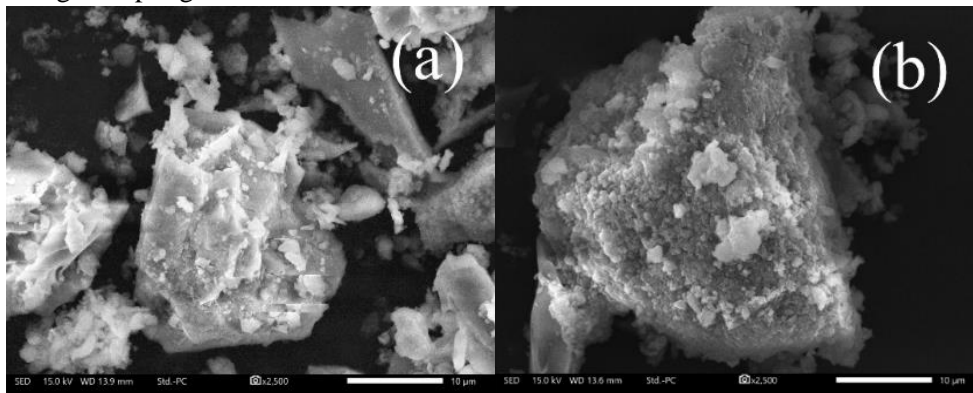
Analisis FTIR pada campuran tanah andisol/pasir *foundry* 75:25 (b/b) bertujuan untuk mengetahui adanya interaksi antara gugus fungsional pada adsorben campuran dengan ion Cu(II) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Terjadinya penurunan intensitas dikarenakan gugus aktif yang ada pada material telah berikatan dengan ion logam Cu, sedangkan pergeseran bilangan gelombang yang lebih rendah mengindikasikan berkurangnya energi vibrasi sedangkan pergeseran bilangan gelombang lebih tinggi mengindikasikan peningkatan energi vibrasi. Adanya puncak baru dan pergeseran panjang gelombang pada Si-O atau Al-O tekuk menunjukkan bahwa adanya interaksi gugus aktif seperti Si-OH/Al-OH akan berinteraksi dengan ion Cu(II) membentuk Si-O-Cu atau Al-O-Cu.



Gambar 2. Spektre FTIR campuran tanah andisol/pasir *foundry* 75:25 (b/b) sebelum (a) dan setelah adsorpsi (b)

7. Analisis SEM-EDX

Analisis SEM-EDX digunakan untuk mengetahui morfologi adsorben sebelum dan setelah adsorpsi ion Cu(II). Hasil analisis SEM EDX yang disajikan pada Gambar 3 menunjukkan morfologi penampang adsorben memiliki bentuk bongkahan. Adanya ruang kosong (pori-pori) pada morfologi sebelum adsorpsi memungkinkan ion Cu(II) untuk mengisi ruang yang terdapat pada permukaan. Morfologi setelah adsorpsi yang lebih tertutup dan tidak beraturan akibat tertutupi oleh ion Cu(II). Tabel 4 menunjukkan bahwa adsorben setelah adsorpsi memiliki kandungan ion Cu(II) yang membuktikan bahwa adsorben mampu mengadsorpsi logam tersebut.



Gambar 3. Morfologi campuran adsorben tanah andisol/pasir *foundry* 75:25 (b/b) sebelum (a) dan setelah adsorpsi (b)

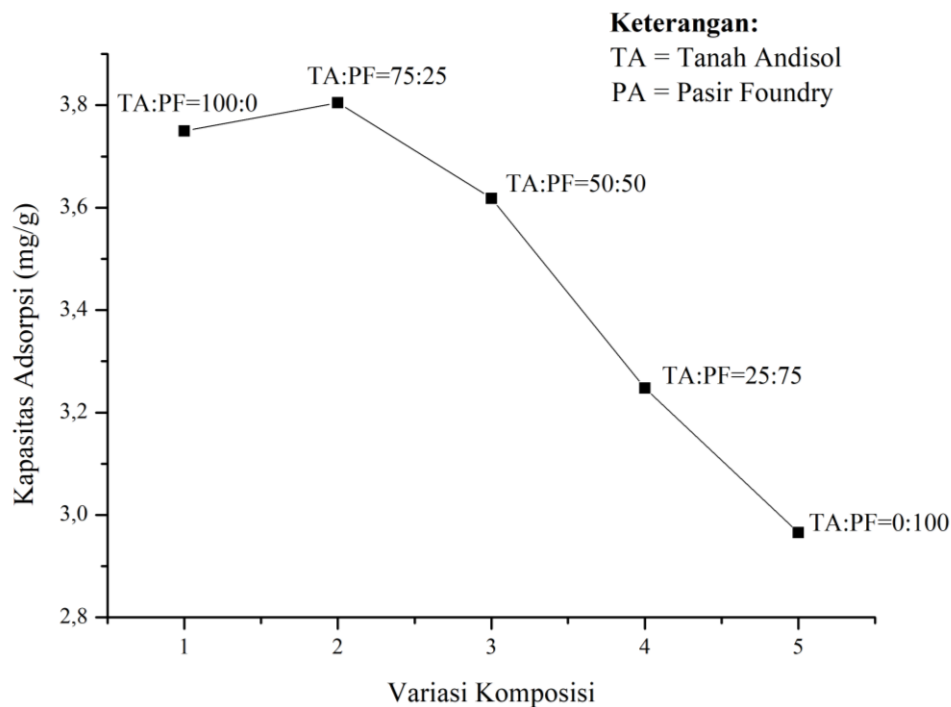
Tabel 4. Kandungan Unsur Adsorben

No	Adsorben	Kandungan Unsur (%)					
		C	O	Na	Al	Si	Cu
1	Campuran tanah andisol/pasir <i>foundry</i> sebelum adsorpsi	8,89	51,77	3,61	11,07	19,18	-
2	Campuran tanah andisol/pasir <i>foundry</i> setelah adsorpsi	3,93	54,57	1,85	13,74	15,97	1,93

B. Uji Kinerja Adsorben

1. Optimasi Komposisi Adsorben

Variasi komposisi adsorben (tanah andisol dan pasir *foundry*) digunakan untuk mengetahui komposisi optimum. Hasil uji kondisi optimum adsorben terhadap penyerapan ion logam Cu(II) menunjukkan komposisi optimum tanah andisol dan pasir *foundry* 75:25 (b/b) dengan kapasitas adsorpsi 3,805 mg/g dan persentase adsorpsi 92,67 %. Keberadaan tanah andisol dan pasir *foundry* saling mendukung satu sama lain atau bersinergi, dikarenakan keasaman dan luas permukaan pada komposisi 75:25 (b/b) yang semakin besar mampu menyediakan situs aktif yang lebih banyak.

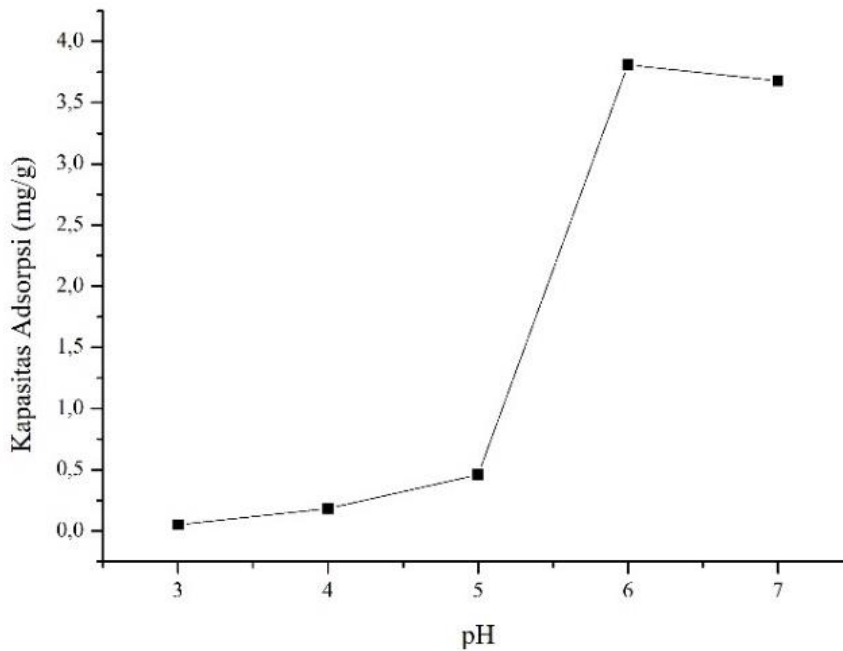


Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Komposisi terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Cu(II) pada Campuran Tanah Andisol dan Pasir Foundry

2. Optimasi Variasi pH

Derajat keasaman (pH) mempengaruhi proses adsorpsi, karena adanya ion H⁺ dalam larutan yang akan berkompetisi dengan gugus aktif adsorben (Meseldzija *et al.*, 2019). Penentuan kondisi pH optimum dilakukan dengan variasi pH 3-7 dengan waktu pengadukan 60 menit pada adsorben tanah andisol:pasir *foundry* optimum 75:25 (b/b). Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi meningkat seiring tingginya pH. Ketika pH rendah atau asam (<4), permukaan adsorben dikelilingi oleh ion-ion H⁺ yang dapat menurunkan interaksi Cu²⁺ dengan adsorben (Essebaai *et al.*, 2019). Seiring bertambahnya pH, gugus Al-OH dan Si-OH cenderung melepas H⁺ sehingga permukaan bersifat negatif dan berinteraksi

dengan ion Cu^{2+} . Akan tetapi pada kondisi pH cenderung basa akan menyebabkan pengendapan menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_2$ sehingga adsorben akan sulit mengadsorpsi.

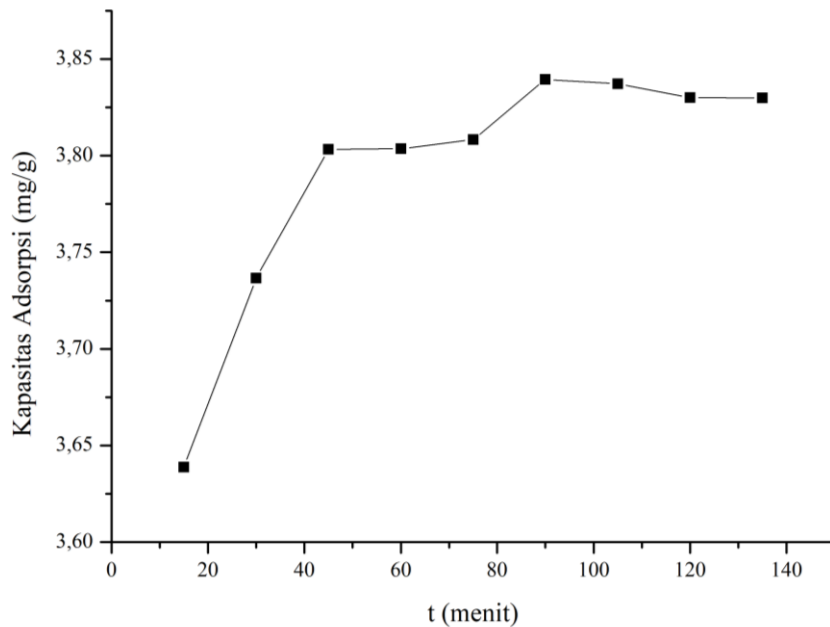


Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi pH terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Cu(II) pada Campuran Tanah Andisol:Pasir Foundry 75:25 (b/b)

Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi meningkat seiring tingginya pH. Ketika pH rendah atau asam (<4), permukaan adsorben dikelilingi oleh ion-ion H^+ yang dapat menurunkan interaksi Cu^{2+} dengan adsorben (Essebaai *et al.*, 2019). Seiring bertambahnya pH, gugus Al-OH dan Si-OH cenderung melepas H^+ sehingga permukaan bersifat negatif dan berinteraksi dengan ion Cu^{2+} . Akan tetapi pada kondisi pH cenderung basa akan menyebabkan pengendapan menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_2$ sehingga adsorben akan sulit mengadsorpsi. Kondisi pH optimum diperoleh pada pH 6 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,808 mg/g dan persentase adsorpsi 93,46 %. Kondisi ini sesuai dengan literatur Pranoto *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa kondisi optimum adsorpsi ion logam Cu(II) dalam suatu larutan terjadi pada pH 6. Ketika pH 7 mengalami penurunan kapasitas adsorpsi yang menunjukkan bahwa larutan Cu mulai mengalami pengendapan membentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$ yang ditandai dengan adanya warna biru pada larutan.

3. Optimasi Variasi Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan pada 15-135 menit (interval 15 menit). Variasi waktu kontak bertujuan untuk mengetahui waktu kontak terbaik saat adsorpsi ion Cu(II) oleh campuran tanah andisol/pasir *foundry*. Berdasarkan data hasil kapasitas adsorpsi membuktikan bahwa waktu kontak berpengaruh dalam proses adsorpsi. Semakin lama waktu kontak akan semakin banyak ion Cu(II) yang teradsorpsi dan stabil pada waktu tertentu. Kapasitas adsorpsi naik seiring dengan lamanya waktu kontak. Ketika awal waktu kontak terjadi kenaikan kapasitas adsorpsi yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena situs aktif yang kosong, sehingga dapat ditempati oleh ion Cu(II). Seiring berjalannya waktu situs kosong semakin sedikit, sehingga kapasitas adsorpsi menjadi stabil. Ketika waktu 15-90 menit kapasitas adsorpsi cenderung naik. Maka dari itu waktu kontak optimum ditetapkan pada 90 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,84 mg/g.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Cu(II) pada Campuran Tanah Andisol:Pasir Foundry 75:25 (b/b)

C. Penentuan Isoterm Adsorpsi

Analisis isoterm adsorpsi dilakukan untuk mengetahui jenis adsorpsi campuran tanah andisol dan pasir *foundry* untuk mengadsorpsi ion Cu(II). Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan pada kondisi optimum, yaitu pada komposisi campuran tanah andisol dan pasir *foundry* 75:25 (b/b) pada pH 6 dan waktu kontak 90 menit terhadap variasi konsentrasi larutan tembaga (Cu) 17, 19, 21, 23, dan 25 ppm. Metode analisis yang digunakan dengan isoterm Langmuir dan Freundlich.

Tabel 5. Isoterm Langmuir dan Freundlich

Isoterm Adsorpsi	Campuran Tanah Andisol Aktif/Pasir Foundry 75:25 (b/b)
Langmuir	
Qm (mg/g)	4,077
K _L (L/mg)	5,022
R ²	0,9970
Freundlich	
K _f (mg/g)	3,606
n	7,072
R ²	0,7639

Nilai persamaan linier untuk isoterm Langmuir adalah $y = 0,226x + 0,045$ dengan R² sebesar 0,997, sehingga cenderung mengikuti isoterm Langmuir. Isoterm Langmuir menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara kimia (kemisorpsi) dan membentuk lapisan tunggal (*monolayer*). Ion Cu(II) dapat berinteraksi membentuk suatu senyawa dengan adsorben (Essebaai *et al.*, 2019). Interaksi kimia pada adsorben dapat terjadi jika gugus aktif silanol dan aluminol akan melepaskan ion H⁺ yang selanjutnya berikatan dengan OH⁻ dari larutan membentuk H₂O. Permukaan adsorben yang bermuatan negatif akan berikatan dengan ion Cu(II) melalui ikatan kovalen koordinasi. Nilai Qm pada penelitian ini sebesar 4,077 mg/g, nilai ini lebih besar dibandingkan literatur yang menyatakan bahwa nilai Qm 1,99 mg/g pada adsorpsi ion Cu(II) oleh pasir *foundry* (Campos *et al.*, 2013) dan 0,81 mg/g pada adsorpsi ion Cu(II) oleh komposit lempung bekonang dan tanah andisol (Pranoto *et al.*, 2018).

Nilai persamaan linier untuk isoterm Freundlich adalah $y = 0,1414x + 1,2825$ dengan R^2 sebesar 0,7639. Isoterm Freundlich menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam Cu(II) juga terjadi secara fisika dan terjadi pada lebih dari satu permukaan (*multilayer*). Gaya van der Waals pada isoterm ini terjadi akibat permukaan campuran tanah andisol/pasir *foundry* yang elektronegatif berinteraksi dengan ion logam Cu(II) yang bersifat elektropositif akibat adanya dipol-dipol. Gaya tarik menarik yang lemah dari gaya van der Waals membuat adsorbat dapat bergerak dari satu bagian adsorben ke bagian permukaan lain, sehingga membentuk lapisan *multilayer* (Sugiyarto *et al.*, 2013).

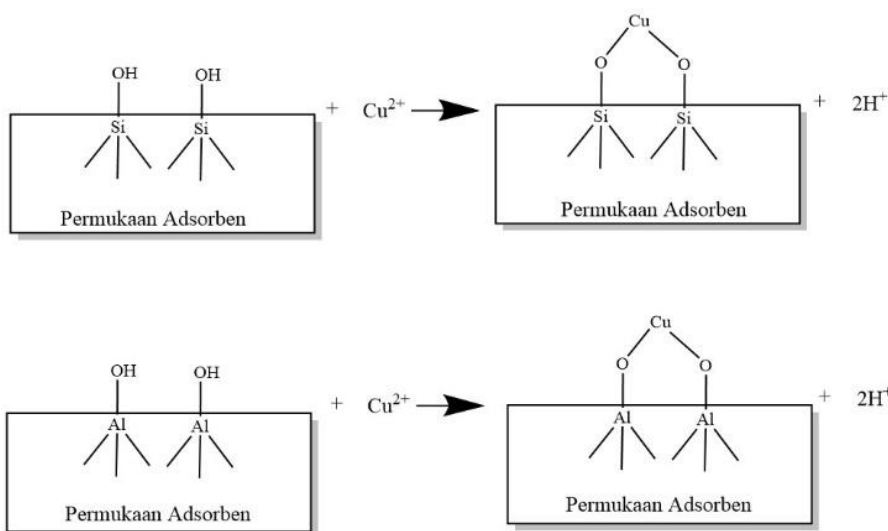
Berdasarkan Tabel 5 Koefisien Freundlich (Kf) menunjukkan nilai 3,582 mg/g yang menunjukkan nilai kapasitas adsorpsi dari campuran tanah andisol-pasir *foundry*, sedangkan nilai n sebesar 7,072. R^2 untuk isoterm Langmuir sebesar 0,997, sementara Freundlich menunjukkan nilai sebesar 0,7639. Berdasarkan uraian di atas dapat dikatakan bahwa adsorpsi ion logam Cu (II) oleh adsorben campuran tanah andisol:pasir *foundry* 75:25 terjadi secara kimia dan fisika. Adsorpsi memiliki kecenderungan mengikuti model isoterm Langmuir dibandingkan Freundlich, karena nilai R^2 nya lebih mendekati 1.

D. Penentuan Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menunjukkan tingkat kecepatan penjerapan adsorben terhadap adsorbatnya. Model kinetika yang digunakan pada penelitian ini adalah model kinetika *pseudo-first order* dan *pseudo-second order*. Regresi linear (R^2) digunakan untuk menentukan laju kinetik sesuai persamaan masing-masing model kinetika (Febrianto *et al.*, 2009). Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa nilai koefisien korelasi (R^2) kinetika *pseudo-second order* lebih besar dibandingkan kinetika *pseudo-first order*. Maka dari itu *pseudo-second order* lebih sesuai untuk diterapkan sebagai model kinetika adsorpsi tanah andisol dan pasir *foundry* karena memiliki koefisien regresi linear (R^2) lebih besar dibandingkan persamaan kinetika adsorpsi *pseudo-first order*. Nilai q pada *pseudo-second order* teori dan eksperimen tidak berbeda jauh. Apabila mengikuti model kinetika *pseudo-second order*, maka proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi secara kimia. Laju ketersediaan situs sebanding dengan kuadrat dari jumlah situs yang tidak ditempati (Tanzifi *et al.* 2017).

Tabel 6. Parameter Kinetika Adsorpsi Ion Cu(II)

<i>Pseudo-first order</i>			<i>Pseudo-second order</i>		
k_1 (min^{-1})	q (mg/g)	R^2	k_2 (g/mg.min)	q (mg/g)	R^2
0,02395	0,2305	0,2952	0,3052	3,861	1



Gambar 7. Mekanisme Adsorpsi Ion Cu(II)

Mekanisme yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 7 di mana terjadi pertukaran kation antara H^+ dan Cu^{2+} . Ion Cu^{2+} mampu berinteraksi dengan dua gugus silanol atau aluminol melalui ikatan kovalen koordinasi antara atom O yang bermuatan negatif dengan Cu^{2+} , kemudian dua H^+ dilepaskan ke larutan (Yuan *et al.*, 2002). Gugus aktif silanol dan aluminol mampu menyediakan muatan elektronegatif pada permukaannya. Hal ini memungkinkan terjadinya proses pertukaran kation dalam proses adsorpsi ion Cu^{2+} dalam larutan (Ghoneim *et al.*, 2007).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanah andisol dan pasir *foundry* mengalami perubahan karakteristik setelah dilakukan aktivasi dan terbentuk campuran. Perubahan ditandai dengan adanya gugus baru pada spektra FTIR, perubahan difraktogram XRD, perubahan kandungan unsur, peningkatan keasaman, perubahan morfologi, dan peningkatan luas permukaan.
2. Campuran adsorben tanah andisol/pasir *foundry* dapat mengadsorpsi ion Cu^{2+} dengan kondisi optimum komposisi tanah andisol andisol/pasir *foundry* 75:25 (b/b) pada pH 6 dengan waktu kontak 90 menit. Kapasitas adsorpsi ion Cu(II) pada kondisi optimum 3,839 mg/g dengan persentase adsorpsi 94,5 %.
3. Jenis isoterm adsorpsi campuran tanah andisol dan pasir *foundry* cenderung mengikuti isoterm Langmuir
4. Jenis kinetika adsorpsi campuran tanah andisol dan pasir *foundry* mengikuti *pseudo-second order*.

Daftar Pustaka

- Al-Saydeh, S. A., El-Naas, M. H., dan Zaidi, S. J. 2017. Copper Removal from Industrial Wastewater: A Comprehensive Review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56: 35–44.
- Amin, M. 2014. Inovasi Material Pada Pembuatan Bata Merah Tanpa Dibakar Untuk Kemakmuran Industri Kerakyatan. *Jurnal Kelitbangan*, 02(03): 13–31.
- Balbay, S., 2019. Recycling of waste foundry sands by chemical washing method. *China Foundry*, 16(2): 141-146.
- Campos, I., Álvarez, J.A., Villar, P., Pascual, A. and Herrero, L. 2013. Foundry Sands as Low-Cost Adsorbent Material for Cr (VI) Removal. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 34(10): 1267–81.
- Essebaai, H., Ismi, I., Lebdiri, A., Marzak, S., dan Rifi, E. H. 2019. Kinetic and Thermodynamic Study of Adsorption of Copper (II) Ion on Moroccan Clay. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 9(2): 102–15.
- Febrianto, J., A.N. Kosasih, J. Sunarso, dan Y. H. Ju, N. Indraswati, dan S. Ismadji. 2009. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: a summary of recent studies. *Journal of hazardous materials*, 162(2-3): 616-645.
- Ghoneim, A., Matsue, N., Ebid, A. dan Henmi, T. 2007. Charge characteristics of nano-ball allophane as affected by zinc adsorption. *Journal of Applied Sciences*, 7(1): 103-108.
- Kadja, G. T. M., dan M. M. Ilmi. 2019. Indonesia Natural Mineral for Heavy Metal Adsorption: A Review. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 2(2): 139–164.
- Latupeirissa, J., M. F., Tanasale, dan S.H., Musa. 2018. Kinetika adsorpsi zat warna metilen biru oleh karbon aktif dari kulit kemiri (*Aleurites moluccana (L) Willd*). *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(1):12-21.
- Mashifana, T., dan T. Sithole. 2020. Recovery of silicon dioxide from waste foundry sand and alkaline activation of desilicated foundry sand. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 6(4):
- Pranoto, T. Martini, dan E. P. Anandita. 2019. Activation and Characterization of Andisol Soil and Fly Ash Composite in Adsorption of Lead (II) Metal Ion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1295(1): 012012.

- Pranoto, A. Masykur, N. Fatimah, dan S. Prabawani. 2018. Fabrication of Sugar Palm Fiber/Andisol Soil Composites for Iron (III) Ion, Removal from Aqueous Solution. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1): 346–51.
- Pranoto, T. Martini, dan W. Maharditya. 2020. Uji Efektivitas Dan Karakterisasi Komposit Tanah Andisol/Arang Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1): 50-66.
- Pranoto, C. Purnawan, dan T. Utami. 2018. Application of Bekonang Clay and Andisol Soil Composites as Copper (II) Metal Ion Adsorbent in Metal Crafts Wastewater. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(1): 23–31.
- Rois, I., dan P. Pranoto. 2018. Efektivitas Adsorben Alofan-Kelor Dalam Pengurangan Bakteri Coliform Dan Escherichia Coli Limbah Cair Domestik. *EnviroScienteeae*, 14(2): 253-259.
- Saad, Noora Z. T. A. Ali, L. A. Naji, A. A. A. H. Faisal, dan N. Al-Ansari. 2020. Development of Bi-Langmuir Model on the Sorption of Cadmium onto Waste Foundry Sand: Effects of Initial PH and Temperature. *Environmental Engineering Research*, 25(5): 677–84.
- Silva-Yumi, J., M. Escudey, M. Gacitua, dan C. Pizarro. 2018. Kinetics, adsorption and desorption of Cd(II) and Cu(II) on natural allophane: Effect of iron oxide coating. *Geoderma*, 319: 70–79.
- Štrkalj, A., Z. Glavas, dan L. Slokar. 2016. Microstructural and equilibrium adsorption study of the system of waste foundry Molding sand/cu (II) ions. *Archives of Metallurgy and Materials*, 61(4): 1805-1812.
- Štrkalj, Glavaš, Z., Maldini, K., Lj, S. dan Hršak, D. 2015. Waste Molding Sand As An Agent For The Removal Of Cu (II) and Zn (II) Ions From Aqueous Solution. *Technologies. Materials*, 9(4): 12-14.
- Sugiyarto, K. H. 2013. Javanese Volcanic Allophane Adsorbent as Heavy Metal Adsorber to Improve the Quality of Drinking Water in Surakarta. *Journal of Environment and Earth Science*, 3(5): 48–56.
- Tanzifi, M., Hosseini, S.H., Kiadehi, A.D., Olazar, M., Karimipour, K., Rezaiehmehr, R. dan Ali, I., 2017. Artificial neural network optimization for methyl orange adsorption onto polyaniline nano-adsorbent: Kinetic, Isoterm and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 244: 189-200.
- Trisunaryanti, Wega, E. Triwahyuni, dan S. Sudiono. 2010. Preparation, Characterizations And Modification Of Ni-Pd/Natural Zeolite Catalysts. *Indonesian Journal of Chemistry*, 5(1): 48–53.
- Valle, S. R., J. Carrasco, D. Pinochet, P. Soto, dan R. M. Donalda 2015. Spatial Distribution Assessment of Extractable Al, (NaF) PH and Phosphate Retention as Tests to Differentiate among Volcanic Soils. *Catena*, 127: 17–25.
- Widihati, I.A.G., O., Ratnayani, dan Y., Angelina. 2010. Karakterisasi Keasaman dan Luas Permukaan Tempurung Kelapa Hijau (*Cocos Nucifera*) dan Pemanfaatannya Sebagai Biosorben Ion Cd²⁺. *Jurnal Kimia*, 4(1): 7-14.
- Yuan, G., Percival, H.J., Theng, B.K.G. and Parfitt, R.L. 2002. Sorption of copper and cadmium by allophane-humic complexes. *In Developments in soil science*, 28: 37-47.