

PENENTUAN PERSAMAAN LANGMUIR DAN FREUNDLICH PADA ADSORPSI LOGAM CU(II) DI AIR LIMBAH ELEKTROPLATING DENGAN SILIKA DARI ABU VULKANIK GUNUNG BROMO

Desy Nuriyah Alifa Rusdiyana*, Anisa Ety Purnamawati, , Dwi Hery Astuti, Sani
 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
 Jl. Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294.
 *Email: 19031010052@student.upnjatim.ac.id

Abstrak

Industri elektroplating di Indonesia semakin berkembang sehingga menimbulkan limbah cair yang berpotensi dapat mencemari lingkungan. Salah satu alternatif pengurangan kandungan logam berat dalam limbah buangan industri yaitu menggunakan senyawa SiO₂ yang disintesis untuk menyerap logam berat tersebut. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan dan membandingkan persamaan Langmuir dan Freundlich agar diperoleh persamaan yang sesuai pada proses adsorpsi logam Cu(II) dengan silika dari Abu Vulkanik Gunung Bromo. Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap, yaitu tahap ekstraksi silika, sintesis silika, dan adsorpsi logam Cu(II) menggunakan limbah elektroplating dengan variabel massa silika 0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; 2 gram dan 2,5 gram serta variabel waktu adsorpsi 40 menit; 60 menit; 80 menit; 100 menit dan 120 menit. Silika yang dihasilkan memiliki kandungan SiO₂ sebesar 41,1 %, dimana konsentrasi limbah elektroplating sebesar 187 mg/L dan volume 10 mL dengan massa silika 2 gram selama 80 menit dapat mengadsorpsi logam Cu(II) hingga 99,0481% menggunakan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan diperoleh persamaan linier $y = 1,635x - 0,021$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9701. Daya adsorpsi silika terhadap logam Cu(II) meningkat seiring dengan bertambahnya massa adsorben dan lamanya waktu adsorpsi hingga mencapai titik optimumnya, setelah mencapai titik optimumnya massa adsorben dan waktu adsorpsi tidak memiliki pengaruh yang signifikan.

Kata kunci: limbah, persamaan freundlich, persamaan langmuir silika

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan logam pada berbagai bidang membuat kebutuhan akan logam dalam negeri semakin meningkat. berdasarkan data Kementerian Perindustrian, dicatat bahwa kebutuhan logam dasar dalam negeri meningkat sebanyak 15% per tahun. Hal ini tentu mengakibatkan industri pengolahan logam juga semakin menjamur bersama pula limbah yang dihasilkan. tak jarang dijumpai limbah industri logam banyak mengandung logam berat yang termasuk limbah B3. Logam berat yang dihasilkan dari industri diantaranya, tembaga, krom, timbal, cadmium, dan lain-lain.

Pesatnya perkembangan industri elektroplating di Indonesia telah menarik perhatian sehingga menimbulkan limbah cair yang berpotensi dapat mencemari lingkungan. Tembaga (Cu) dan Kromium (Cr) merupakan logam berat pencemar limbah dengan toksitas tinggi. Pencemaran logam Cu(II) biasanya berbentuk ion Cu²⁺ sementara logam Cr berbentuk Cr³⁺ dan ion Cr⁶⁺. Keberadaan tembaga dan kromium dengan konsentrasi yang tinggi sangat berbahaya bagi lingkungan perairan karena adanya sifat di dalam lingkup lingkungan (Adriansyah, 2018)

Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 52 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, kadar Logam Cu(II) pada limbah maksimum 20L/m² produk yang dilapisi sebesar 0,6 mg/L. Sementara pada limbah industri elektroplating menurut Yong (2021), terdapat kadar logam Cu(II) sekitar 513 mg/L sehingga perlu adanya pengolahan lebih lanjut agar limbah ini tidak mencemari lingkungan.

Menurut Tran pada tahun 2021, adsorpsi ialah metode yang efektif untuk pengolahan lingkungan serta dapat diaplikasikan untuk menghilangkan logam berat pada limbah cair. Penelitian ini menggunakan silika dari abu vulkanik Gunung Bromo sebagai adsorben pada adsorpsi logam Cu(II).

Abu vulkanik memiliki kandungan silika yang besar sehingga seringkali dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan silika. Silika memiliki rumus molekul SiO₂ (silikandioksida) yang merupakan senyawa kimia atau molekul besar dan berasal dari silika nabati, mineral, serta sintesis kristal. Silika seringkali digunakan sebagai adsorben. Silika memiliki empat atom oksigen yang cukup ionik sebagai situs aktif

untuk mengikat logam berat (Ramadhanty, 2020).

Menurut Kristianingrum di tahun 2017, dengan menggunakan adsorben silika gel dari abu vulkanik Gunung Kelud dihasilkan efisiensi adsorpsi optimum terhadap ion logam Cu(II) dari adsorben hasil sintesis menggunakan H₂SO₄ 5M yaitu sebesar 92.26% serta dengan daya adsorpsi optimum terhadap ion logam Cu(II) dari adsorben hasil sintesis menggunakan CH₃COOH 3M sebesar 2.49mg/g.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan membandingkan persamaan Langmuir dan Freundlich agar diperoleh persamaan yang sesuai pada adsorpsi logam Cu(II) dengan silika dari abu vulkanik Gunung Bromo dengan harapan penelitian ini dapat menjadi inovasi pada pemanfaatan bahan alam yang tersedia untuk mengurangi pencemaran alam dan menjaga kelestarian yang ada.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan variabel bebas massa adsorben sebanyak 0.5 gram; 1 gram; 1.5 gram; 2 gram; dan 2.5 gram; serta waktu adsorpsi selama 40 menit; 60 menit; 80 menit; 100 menit; dan 120 menit. Kondisi yang ditetapkan yaitu ukuran abu vulkanik sebesar 140 mesh sebanyak 20 gram, konsentrasi NaOH 4M 60ml, suhu pengeringan 105°C, konsentrasi HCl 2M dan 4M, kecepatan pengadukan 300 rpm 90 menit.

Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini ialah persamaan isotherm Langmuir seperti berikut

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m}$$

Dimana:

q_e = Jumlah logam berat yang teradsorpsi (mg/g)

q_m = Kapasitas maksimum adsorpsi (L/mg)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan logam berat (mg/L)

K_L = Konstanta Langmuir (L/mg)

Serta persamaan isotherm Freundlich seperti berikut

$$\log \frac{x}{m} = \log K_F + \log C_e^n$$

Dimana:

K_F = Konstanta Freundlich

N = Intensitas adsorpsi

C_e = Konsentrasi adsorbat pada waktu

kesetimbangan(mg/L)

$$\frac{x}{m} = qe = KC_e^n$$

(Reynold, 1996)

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu aluminum foil, ayakan 140 mesh, corong kaca, gelas ukur, hotplate magnetic stirrer, kaca arloji, kertas saring, beaker glass, labu ukur, neraca analitik, erlenmeyer, oven, pipet tetes, pengaduk, dan pH meter.

Penelitian ini menggunakan bahan asam klorida, natrium hidroksida dan aquadest.

2.2 Prosedur Penelitian

Menimbang abu vulkanik 140 mesh sebanyak 20 gram, direndam dengan HCl 2M selama 24 jam kemudian dicuci dan disaring untuk diambil endapannya. Endapan abu vulkanik ditambahkan larutan NaOH 4M 60 ml. Kemudian diekstraksi dengan magnetic stirrer dengan suhu 100°C selama 90 menit dengan kecepatan 300 rpm. Selanjutnya ditambahkan 250 ml aquadest dan di saring untuk memperoleh filtrat larutan natrium silikat.

Larutan natrium silikat dinetralkan dengan menambahkan HCl 4M dan didiamkan ± 7 hari hingga terbentuk silika gel. Kemudian di saring dan dicuci dengan aquadest dan dikeringkan dengan oven hingga berat konstan.

Silika di timbang sesuai dengan variabel massa (0.5 gram; 1 gram; 1.5 gram; 2 gram; 2.5 gram) dan dimasukkan ke dalam 10 mL larutan limbah elektroplating. Aduk dengan magnetic stirrer sesuai dengan waktu adsorpsi (40 menit; 60 menit; 80 menit; 100 menit; 120 menit) kemudian di saring dan filtrat yang diperoleh di analisis dengan metode analisis AAS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Bahan Baku

Abu Vulkanik Gunung Bromo yang diperoleh diuji XRF untuk mengetahui kandungan yang terdapat dalam abu tersebut dan diperoleh data hasil uji sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis XRF Abu Vulkanik

Compound	Conc (%)
Al ₂ O ₃	13
SiO ₂	47
K ₂ O	3.94
CaO	11.7
TiO ₂	1.98
V ₂ O ₅	0.04

Cr ₂ O ₃	0.048
MnO	0,3
Fe ₂ O ₃	21,2
CuO	0,083
ZnO	0,006
Rb ₂ O	0,11
SrO	0,28
BaO	0,2
Eu ₂ O ₃	0,38
Re ₂ O ₇	0,2

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa kandungan silika dalam abu vulkanik Gunung Bromo cukup banyak yaitu sebesar 47% sehingga abu vulkanik Gunung Bromo dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan silika gel.

3.2 Hasil Analisis Silika dari Abu Vulkanik Gunung Bromo

Silika gel dari abu vulkanik Gunung Bromo yang dihasilkan kemudian diuji XRF dan diperoleh data hasil uji sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis XRF Silika Gel dari Abu Vulkanik Gunung Bromo

Compound	Conc (%)
Al ₂ O ₃	7.6
SiO ₂	41.1
P ₂ O ₅	0.56
Cl	48.2
K ₂ O	0.54
CaO	0.71
Sc ₂ O ₃	0.01
Fe ₂ O ₃	0.52
CuO	0.064
ZnO	0.02
BaO	0.27
Nd ₂ O ₃	0,23
Re ₂ O ₇	0,12

Berdasarkan data diatas, dapat dilihat bahwa kandungan silika dalam silika gel dari abu vulkanik Gunung Bromo sebesar 41.1%.

3.3 Hasil Analisis Kadar Cu dalam Larutan

3.3.1 Hasil Analisis Kadar Cu Awal

Larutan dalam penelitian ini adalah limbah cair elektroplating yang diperoleh dari salah satu pabrik besi di Sidoarjo. Dilakukan uji awal kadar Cu pada air limbah elektroplating dengan metode AAS dan diperoleh hasil sebesar 187 ppm atau setara dengan 187 mg/L dalam 1000 ml larutan.

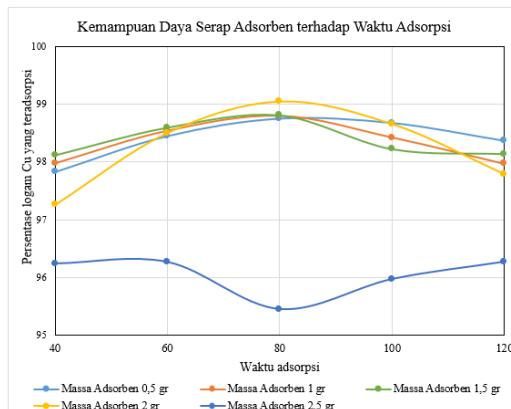
3.3.2 Hasil Analisis Limbah Elektroplating

Tabel 3. Pengaruh Waktu Adsorpsi dan Massa Adsorben terhadap Penurunan Logam Cu

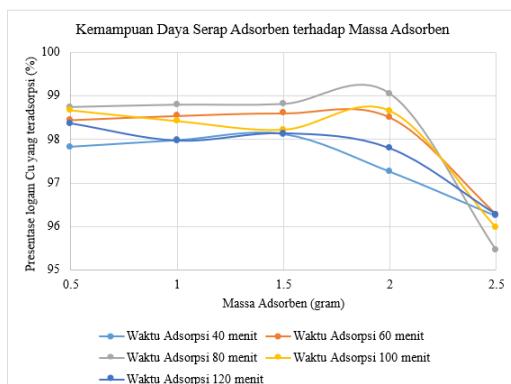
Waktu (menit)	Massa (gram)	Kadar Cu awal (mg/L)	Kadar Cu akhir (mg/L)	Presentase Penurunan (%)
40	0.5	187	4.06	97.8289
	1	187	3.78	97.9786
	1.5	187	3.52	98.1176
	2	187	5.13	97.2567
	2.5	187	7.03	96.2406
60	0.5	187	2.91	98.4439
	1	187	2.73	98.5401
	1.5	187	2.62	98.5989
	2	187	2.8	98.5027
	2.5	187	6.98	96.2674
80	0.5	187	2.35	98.7433
	1	187	2.25	98.7968
	1.5	187	2.22	98.8128
	2	187	1.78	99.0481
	2.5	187	8.5	95.4545
100	0.5	187	2.49	98.6684
	1	187	2.95	98.4225
	1.5	187	3.32	98.2246
	2	187	2.51	98.6578
	2.5	187	7.53	95.9733
120	0.5	187	3.06	98.3636
	1	187	3.8	97.9679
	1.5	187	3.48	98.1390
	2	187	4.13	97.7914
	2.5	187	6.97	96.2727

Berdasarkan tabel 3 diketahui bahwa terjadi penurunan kadar Cu dalam air limbah elektroplating setelah dilakukan proses adsorpsi menggunakan silika abu vulkanik. Dapat dilihat bahwa kemampuan daya serap adsorben terbaik pada variabel waktu 80 menit dengan massa adsorben 2 gram dan dengan presentase penurunan kadar Cu sebesar 99.048%. Terlihat bahwa kadar Cu setelah adsorpsi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya massa silika, hal ini dikarenakan adsorpsi ion logam terjadi secara fisik dimana ion logam Cu(II) terikat dengan gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si), sehingga apabila adsorben

sudah mencapai kejemuhanya maka ion logam Cu(II) akan mengalami desorpsi. Setiap bertambahnya waktu adsorpsi, kadar Cu tidak mengalami penurunan yang teratur sehingga pola yang terbentuk cenderung tidak beraturan, hal ini dikarenakan kecepatan adsorpsi terjadi pada awal waktu adsorpsi, setelah hampir semua sisi aktif berinteraksi dengan ion logam atau pada waktu optimumnya, kecepatan adsorpsi menurun dan tidak terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi secara signifikan (Nur'aeni, 2017).



Gambar 1. Grafik Hubungan Waktu Adsorpsi dengan Daya Serap Logam Cu(II) pada Kondisi Massa yang Bervariasi



Gambar 2. Grafik Hubungan Massa Adsorben dengan Daya Serap Logam Cu(II) pada Kondisi Waktu Adsorpsi yang Bervariasi

Berdasarkan tabel 3 dan gambar 1 serta gambar 2 terlihat bahwa kemampuan daya serap adsorben terbaik pada waktu adsorpsi 80 menit dengan massa adsorben sebanyak 2 gram.

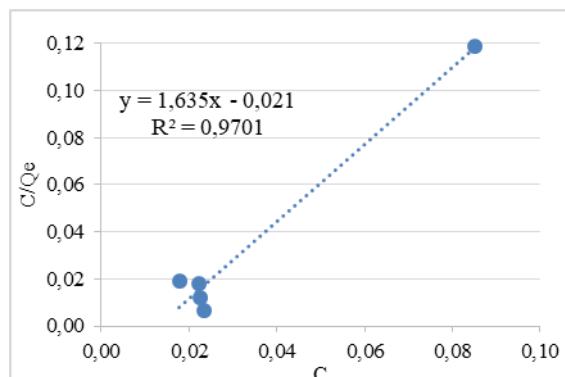
Salah satu faktor yang memengaruhi proses adsorpsi logam berat dan menjadi parameter penting yaitu waktu adsorpsi. Untuk mengetahui kecepatan reaksi adsorpsi dan lamanya adsorben menyerap logam dilihat dari

lamanya waktu adsorpsi. Menurut Indah (2020), semakin lama waktu kontak maka semakin banyak kesempatan partikel adsorben untuk bersinggungan dengan logam berat. Namun pada waktu kontak tertentu, efisiensi adsorpsi mengalami penurunan. Penurunan efisiensi adsorpsi terjadi karena proses pelepasan kembali adsorbat akibat permukaan adsorbat telah jenuh (desorpsi). Pada keadaan ini waktu kontak tidak lagi berpengaruh.

Massa adsorben juga merupakan salah satu faktor yang memengaruhi proses penyerapan ion logam. Hal ini didukung dengan pernyataan Wardalia (2017), banyaknya berat adsorben sebanding dengan pertambahan jumlah partikel serta luas permukaan adsorben sehingga efisiensi penyerapan pun meningkat.

Tabel 4. Kapasitas Isotherm Adsorpsi Langmuir

Waktu (menit)	a (1/KQm)	b (1/Qm)	Qm	K
40	-0,066	2,311	0,433	-35,114
60	-0,032	1,843	0,543	-57,224
80	-0,021	1,635	0,612	-77,857
100	-0,031	1,798	0,556	-57,635
120	-0,053	2,175	0,46	-40,723



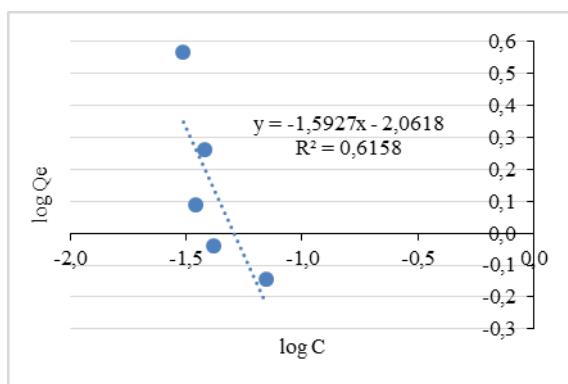
Gambar 3. Grafik Isotherm Langmuir pada Waktu Adsorpsi 80 menit

Berdasarkan gambar diatas, diperoleh persamaan Langmuir $\frac{C_e}{q_e} = 1,635C - 0,021$, dengan koefisien regresi $R^2=0,9701$.

Tabel 5. Kapasitas Isotherm Adsorpsi Freundlich

Waktu (menit)	a (Log k)	b (1/n)	K	n
40	-1,827	-1,47	0,015	-0,68
60	-1,074	-0,827	0,084	-1,209

80	-0,603	-0,485	0,25	-2,062
100	-1,145	-0,881	0,072	-1,135
120	-2,062	-1,593	0,009	-0,628



Gambar 4. Grafik Isotherm Freundlich pada Waktu Adsorpsi 120 menit

Berdasarkan gambar diatas, diperoleh persamaan Freundlich $\log \frac{x}{m} = 2.0618 + \log Ce^{-1.5927}$ dengan koefisien regresi $R^2=0.6158$.

Berdasarkan data yang diperoleh dari perhitungan plot data model isotherm adsorpsi, maka kesesuaian model adsorpsi dapat ditentukan dengan membandingkan nilai koefisien regresi (R^2) dari masing-masing grafik. Khamwichit (2022) berpendapat bahwa nilai R^2 menunjukkan sifat adsorpsi, pada $0 < R^2 < 1$ menunjukkan isotherm yang menguntungkan, pada $R^2 = 0$ menunjukkan isotherm irreversible, pada $R^2 = 1$ menunjukkan isotherm linier dan $R^2 > 1$ menunjukkan isotherm tidak menguntungkan. Oleh karena itu diantara isotherm Langmuir dan Freundlich yang memiliki nilai koefisien regresi linier (R^2) paling mendekati 1 yaitu isotherm Langmuir pada waktu adsorpsi 80 menit dengan nilai R^2 sebesar 0,9701. Persamaan yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan silika sebagai adsorben dalam menurunkan kandungan Cu dalam air limbah elektroplating sampai dengan konsentrasi yang diinginkan.

Adsorpsi Logam Cu(II) dengan silika dari abu vulkanik gunung bromo cenderung mengikuti model persamaan isotherm Langmuir yaitu adsorpsi yang berlangsung seara kimia. Seperti yang disampaikan oleh Wijayanti (2018), jika tipe isotherm yang sesuai adalah isotherm Langmuir, maka adsorpsi yang berlangsung secara kimisorpsi, namun jika isotherm yang sesuai adalah isotherm Freundlich maka adsorpsi yang terjadi adalah fisisorpsi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa adsorpsi logam Cu(II) dengan silika dari abu vulkanik Gunung Bromo cenderung mengikuti model persamaan isotherm adsorpsi Langmuir $y = 1,635x - 0,021$ karena diperoleh nilai R^2 yang paling mendekati 1 yakni sebesar 0,9701 pada waktu adsorpsi 80 menit dengan massa silika 2 gram dan efisiensi adsorpsi sebesar 99,0481%. Diperoleh persamaan Isotherm Adsorpsi Langmuir $\frac{Ce}{q_e} = 1.635C - 0.021$ dengan regresi linier $R^2 = 0.9701$ serta diperoleh persamaan Isotherm Adsorpsi Freundlich $\log \frac{x}{m} = 2.0618 + \log Ce^{-1.5927}$ dengan regresi linier $R^2 = 0.6158$.

Perendaman abu vulkanik gunung bromo dengan HCl pada proses ekstraksi tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap ekstraksi silika dari abu vulkanik sehingga tidak perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah, R., Restiasih E. N., dan Meileza, N 2018, ‘Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dan Cr(VI) Menggunakan Biosorben Kulit Kopi Terxanthasi’, *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, Vol 2, No. 2
- Indah, D, R 2020, ‘Adsorpsi Logam Tembaga (Cu) Pada Karbon Bagasse Teraktivasi Natrium Hidroksida (NaOH)’, *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*, Vol. 7, No. 1, hh 26-27
- Khamwichit, A., dan Dechapanya, W, 2022, ‘Adsorption kinetics and isotherms of binary metal ion aqueous solution using untreated venus shell’, *Heliyon Cell Press*, Vol 8, hh 10
- Kristianingrum, S., Siswani, E. D., dan Suyanta 2016, ‘Modifikasi Abu Vulkanik Gunung Kelud 2014 Sebagai Bahan Adsorben Selektif Ion Logam Tembaga (II)’, *Jurnal Sains Dasar*, Vol. 5, No. 1, hh 15
- Nur'aeni, D, dan Hadisantoso, E. P., 2017, ‘Adsorpsi Ion Logam Mn²⁺ dan Cu²⁺ oleh Silika Gel dari Abu Ampas Tebu’, *al-Kimiya*, Vol 4, No. 2, hh 77-79
- Ramadhan, D 2020, *Sintesa dan Karakteristik Adsorben Berbahan Baku Abu Vulkanik*, UPN “Veteran” Jawa Timur, Surabaya
- Tran, T. H., Tran, Q. M., Le T. V., Pham T. T., Le V. T., dan Nguyen M. K., 2021, ‘Removal of Cu (II) by Calcinated

- Electroplating Sludge', *Heliyon*, Vol. 7, hh 1-2
- Wardalia 2017, 'Pengaruh Massa Adsorben Limbah Sekam Padi terhadap Penyerapan Konsentrasi Timbal', *Jurnal TEKNIKA*, Vol. 13, No. 1, hh 79
- Wati, R,S dan Erawati, E, 2020, 'Efisiensi Penurunan Kadar Logam Cu(II) pada Limbah Cair Industri Elektroplating dengan Proses Elektrokoagulasi', Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, ISSN 1693-4393, hh. 1
- Widayatno, T, Yuliawati, T dan Susilo 2017, 'Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif', *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, Vol.1, No. 1, hh. 18-19
- Yong Y, Hua W dan Jianhang, H, 2021, 'Co-treatment of Electroplating Sludge, Copper Slag, and Spent Cathode Carbon for Recovering and Solidifying Heavy Metals', *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 417, No. 0304-3894, hh. 2