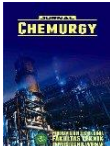
 <p>Jurnal Chemurgy</p>	<p style="text-align: center;">JURNAL CHEMURGY</p> <p style="text-align: center;">E-ISSN 2620-7435</p> <p style="text-align: center;">Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</p>	 <p style="text-align: center;">SINTA Accreditation No. 200/M/KPT/2020</p>
---	--	---

MODEL KINETIKA ADSORPSI LOGAM BERAT Cu^{2+} MENGUNAKAN SELULOSA DAUN NANAS

KINETIC MODEL ADSORPTION OF HEAVY METAL Cu^{2+} USING PINEAPPLE LEAVE CELLULOSE

Novi Eka Mayangsari^{1*}, Ulvi Pri Astuti¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

*email : noviekam@ppns.ac.id

(Received: 5 March 2021; Reviewed: 22 April 2021; Accepted: 7 June 20)

Abstrak

Limbah industri tekstil yang cukup berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan adalah logam berat Cu^{2+} . Salah satu cara pengolahan logam berat Cu^{2+} menggunakan metode adsorpsi. Pemilihan adsorben yang tepat pada proses adsorpsi mampu memberikan efisiensi pengolahan yang tinggi. Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah selulosa daun nanas. Alasan pemilihan adsorben ini karena limbah daun nanas ketersediaannya melimpah di Indonesia sehingga cukup mudah didapatkan, selain itu daun nanas memiliki kandungan selulosa yang tinggi yaitu sekitar 69,5-71,5%. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model kinetika proses adsorpsi logam berat Cu^{2+} menggunakan adsorben selulosa daun nanas. Proses adsorpsi logam Cu^{2+} menggunakan pengadukan dengan kecepatan 90 rpm selama 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Hasil penelitian menunjukkan semakin lama waktu kontak proses adsorpsi maka persen *removal*nya semakin tinggi. Proses adsorpsi pada penelitian ini berlangsung optimum pada waktu kontak 90 menit. Setelah itu proses adsorpsi dievaluasi menggunakan Isoterm Freundlich dan Langmuir. Hasil penelitian menunjukkan proses adsorpsi logam berat Cu^{2+} mengikuti model isotherm Freundlich dengan nilai N dan K_f masing-masing sebesar -0,81826 dan 13,614. Model isotherm Freundlich digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi logam Cu^{2+} dengan membandingkan persamaan orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga. Kinetika adsorpsi penelitian ini mengikuti kinetika orde nol dengan nilai k_3 sebesar 0,00004.

Kata Kunci: adsorpsi, daun nanas, model isotherm, kinetika adsorpsi

Abstract

The textile industry waste which is quite dangerous if disposed of directly into the environment is the heavy metal for choosing this adsorbent is because the availability of pineapple leaf waste in Indonesia is quite Cu^{2+} . One method of processing Cu^{2+} heavy metal is using the adsorption method. Selection of the right adsorbent in the adsorption process can provide high process efficiency. The adsorbent in this study was used pineapple leaf cellulose. The reason easy to obtain, besides that pineapple leaves have a high cellulose content of around 69.5-71.5%. This study aims to determine the kinetics model of the Cu^{2+} adsorption process using pineapple leaf cellulose adsorbent. The Cu^{2+} metal adsorption process used stirring at a speed of 90 rpm for 30, 60, 90, 120, and 150 min. The results showed that the longer of contact time for the adsorption process, the higher the percent of removals. The adsorption process in this study took place optimally at the contact time of 90 min. The adsorption process was evaluated using Freundlich and Langmuir isotherms. The results showed that the adsorption process for heavy metal Cu^{2+} followed Freundlich isotherm model with N and K_f values of -0.81826 and 13.614, respectively. Freundlich's isotherm model was used to determine the adsorption kinetics of Cu^{2+} by comparing the zero-order, first-order, second-order and third-order equations. The adsorption kinetics of this study followed the zero order kinetics with a k_3 value of 0.00004.

Keywords: adsorption, pineapple leaves, isotherm model, adsorption kinetic

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkontribusi cukup besar bagi peningkatan devisa negara Indonesia. Industri ini menyumbang sebesar 12,72% pada bidang ekspor non Migas (Hermawan, 2011). Dampak positif yang diberikan industri tekstil berbanding lurus dengan dampak negatif yang ditimbulkan ke lingkungan. Hal ini disebabkan karena industri tekstil menggunakan air, zat warna yang konsentrasinya cukup besar, dan kandungan senyawa organik berbahaya dalam proses produksinya (Mahfuza, 2005). Salah satu karakteristik limbah yang dihasilkan adalah Logam berat Cu^{2+} yang sifatnya karsinogenik dan berbahaya bagi lingkungan jika tidak dilakukan pengolahan. Berdasarkan Tuty dan Herni (2009) kandungan logam Cu^{2+} pada limbah tekstil batik sebesar 0,2629 ppm.

Salah satu cara pengolahan logam berat Cu^{2+} yang cukup optimal yaitu menggunakan metode Adsorpsi. Adsorpsi dapat terjadi melalui beberapa mekanisme yaitu pemerangkapan, pertukaran ion, ikatan hydrogen, dan pembentukan kompleks (Martell dan Hancock, 1996). Pada proses adsorpsi, pemilihan adsorben menjadi salah satu faktor yang cukup penting agar menghasilkan efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.

Adsorben dari selulosa daun nanas dapat dijadikan alternatif sebagai pengolahan logam berat Cu^{2+} . Selama ini bagian dari tanaman nanas yang dimanfaatkan adalah buahnya saja, sedangkan bagian lain seperti daun nanas belum banyak dimanfaatkan. Pada musim panen, buah yang dihasilkan dipisahkan dengan daunnya yang kemudian daun tersebut menumpuk sebagai limbah dari petani nanas. Limbah daun nanas ini dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena adanya senyawa-senyawa karbon seperti selulosa dan lignin. Selain itu, daun nanas ketersediaannya di Indonesia juga melimpah. Berdasarkan data rata-rata tahun 2009-2013, Indonesia termasuk lima negara dengan tingkat produktivitas nanas terbesar di dunia, yaitu sebesar 116,79 ton/ha (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian, 2016). Selain itu, pemanfaatan daun nanas sebagai adsorben dikarenakan daun nanas memiliki kandungan selulosa yang tinggi yaitu sebesar 69,5% - 71,5% (Hidayat, 2008). Adsorben daun nanas dapat *removal* kandungan logam berat Cu^{2+} hingga sekitar 62% dengan waktu kontak adsorpsi selama 90 menit (Mayangsari dkk, 2019).

Selulosa berpotensi cukup tinggi digunakan sebagai adsorben dikarenakan memiliki gugus hidroksil (-OH). Gugus hidroksil ini akan menjerat logam berat dengan interaksi pembentukan kompleks antara permukaan padatan dengan adsorbat (Takarani dkk, 2019). Selain selulosa, terdapat beberapa material yang juga mengandung gugus hidroksil, salah satunya yaitu Polivinil Alkohol (PVA). PVA merupakan suatu material yang dapat larut dalam air, tidak beracun dan memiliki sifat biodegradable (Martina dkk, 2016). Kedua material yang mengandung gugus hidroksil ini dapat dikombinasikan sehingga jika digunakan sebagai adsorben logam berat Cu^{2+} .

Proses adsorpsi ini dapat dipelajari dengan menggunakan model isoterms Langmuir dan Freundlich yang umum digunakan. Model isoterms ini menghubungkan antara adsorbat pada permukaan adsorben dengan konsentrasi limbah (Nafi'ah, 2016). Kajian adsorpsi ini bisa dikembangkan hingga menentukan kinetika adsorpsi. Penentuan kinetika adsorpsi dapat dilakukan dengan beberapa model yaitu persamaan orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mempelajari model isoterms serta kinetika adsorpsi pada proses adsorpsi logam berat Cu^{2+} menggunakan adsorben selulosa-PVA.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Limbah Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Bahan yang digunakan adalah daun nanas sebagai adsorben yang didapatkan dari Dusun Sesek, Kecamatan Ponggok, Kabupaten Blitar, Jawa Timur, NaOH (Merck) sebagai pelarut saat proses delignifikasi, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Merck) sebagai limbah artifisial, amoniak (Merck) dan sodium dietilditiokarbamat (Merck) sebagai reagen Analisa. Sedangkan peralatan yang digunakan yaitu hot plate magnetic stirrer (JISICO J-HSD180), oven (JISICO J-300M), spektrofotometer UV-VIS (Agilent Cary 60 Spectrophotometer), dan alat gelas laboratorium.

2.1 Pembuatan selulosa dari daun nanas

Daun nanas dicuci bersih dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama lebih kurang 3 hari, kemudian dihaluskan dan disamakan ukurannya menjadi 60 mesh sehingga menjadi serbuk. Serbuk daun nanas dilakukan proses delignifikasi menggunakan NaOH 9% (w/v) dengan perbandingan 1:30 (w:v) selama 90 menit. Setelah proses delignifikasi, sampel dicuci hingga pH netral dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C hingga mencapai berat konstan.

2.2 Proses adsorpsi logam Cu

Serbuk daun nanas dengan berat 1 gram yang telah mengalami proses delignifikasi dikontakkan dengan limbah artifisial Cu²⁺ dengan konsentrasi 25 ppm. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 90 rpm selama 30, 60, 90, 120 menit. Setelah itu, campuran dipisahkan antara filtrat dan residunya. Filtrat hasil proses adsorpsi dilakukan analisa menggunakan spektrofotometer UV-VIS untuk mengetahui ion logam Cu²⁺ yang terserap oleh selulosa daun nanas. Jumlah logam Cu²⁺ yang terserap dihitung dengan persamaan (1).

$$\text{Cu}^{2+} \text{ adsorpsi} = \text{konsentrasi Cu}^{2+} \text{ awal} - \text{konsentrasi Cu}^{2+} \text{ akhir} \quad (1)$$

Konsentrasi Cu²⁺ yang terserap oleh adsorben dapat juga dihitung % teradsorpsi dengan persamaan 2.

$$\% \text{ teradsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

Selain dalam bentuk % teradsorpsi, konsentrasi logam Cu²⁺ yang terserap dapat ditentukan dengan persamaan 3.

$$Q_e = (C_0 - C_e) \times \frac{V}{m} \quad (3)$$

Dengan:

Q_e = jumlah adsorbat yang terserap per massa padatan (mg/g)

C₀ = konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_e = konsentrasi akhir larutan (mg/L)

m = massa adsorben (g)

V = volume larutan (L)

2.3 Penentuan kinetika adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan evaluasi dengan menggunakan dua model isotherm, yaitu model Langmuir dan model Freundlich. Isotherm adsorpsi Langmuir didefinisikan sebagai kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi akibat lapisan tunggal (monolayer) ke permukaan dengan jumlah terbatas yang identik dan dapat dinyatakan dalam bentuk linear sesuai persamaan 4 (Mantouq dkk, 2015 dan Danish dkk, 2018).

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_m} + \frac{1}{K_L Q_m} \quad (4)$$

Dimana Q_m dan K_L yaitu konstanta kapasitas (mg/g) dan energi adsorpsi (L/g). konstanta ini didapatkan dari nilai slope dan intercept dari plot linear C_e/Q_e vs. C_e. Data adsorpsi yang diperoleh dari model Langmuir kemudian digunakan ke adsorpsi isotherm Freundlich, yang mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan bersifat heterogen, serta dapat dinyatakan dalam bentuk linier sesuai dengan persamaan 5 (Mantouq dkk, 2015 dan Danish dkk, 2018).

$$\ln Q_e = \ln K_f + \frac{1}{N} \ln C_e \quad (5)$$

Dimana K_f (mg/g) dan N merupakan konstanta Freundlich yang menggabungkan semua faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi yaitu kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. Konstanta ini ditentukan dari plot ln Q_e vs. ln C_e.

Persamaan penentuan kinetika adsorpsi dapat dengan menggunakan metode regresi linier terhadap orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga (Singh dkk, 2008).

Orde nol

$$C_e = -k_0t + C_0 \quad (6)$$

Orde Satu

$$\ln C_e = -k_1t + \ln C_0 \quad (7)$$

Orde dua

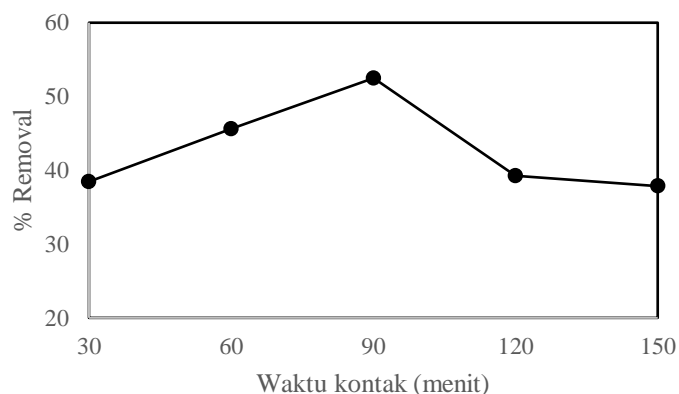
$$\frac{1}{C_e} = k_2t + \frac{1}{C_0} \quad (8)$$

Orde tiga

$$\frac{1}{C_e^2} = 2k_3t + \frac{1}{C_0^2} \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

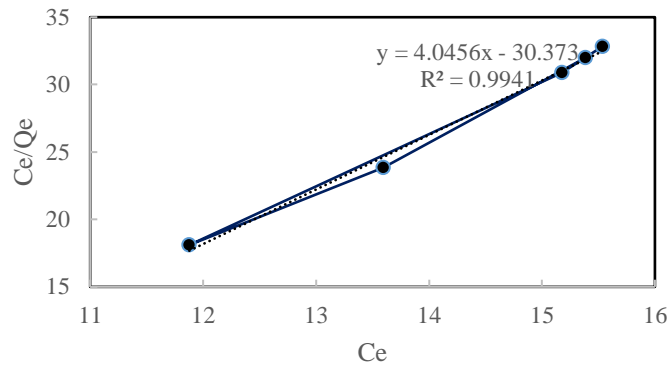
Produk selulosa yang berasal dari daun nanas dimanfaatkan sebagai adsorben logam Cu^{2+} . Proses adsorpsi disertai dengan pengadukan kecepatan 90 rpm dan dengan variasi waktu kontak, sehingga dapat melihat pengaruh waktu kontak terhadap *removal* logam Cu^{2+} . Waktu kontak merupakan waktu pengadukan campuran selulosa daun nanas dengan limbah *artificial* yang mengandung logam Cu^{2+} . Pengadukan bertujuan untuk memberikan kesempatan partikel selulosa daun nanas untuk berkontak dengan senyawa serapan (Sembiring dan Sinaga, 2017).



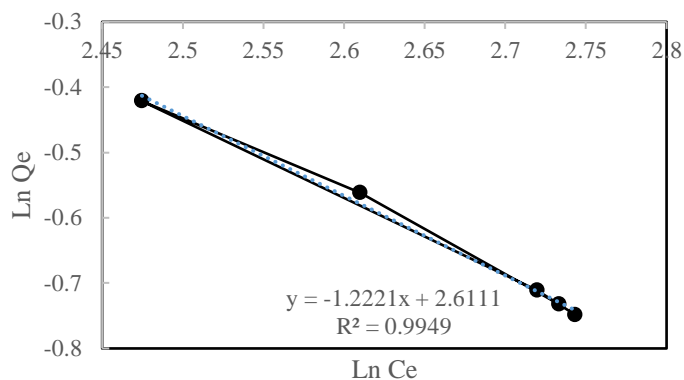
Gambar 1. Pengaruh waktu kontak terhadap *removal* logam Cu^{2+}

Gambar 1 menunjukkan bahwa dengan waktu kontak yang semakin lama pada 30 menit hingga 90 menit, persen *removal* logam Cu^{2+} semakin meningkat, kemudian mengalami penurunan pada waktu kontak 120 hingga 150 menit. Kenaikan persen *removal* ini dikarenakan adanya interaksi antara gugus -OH dengan logam semakin banyak. Pada waktu 90 menit merupakan kondisi optimum proses adsorpsi, dimana pada kondisi ini proses adsorpsi telah mencapai kondisi maksimum hingga titik jenuhnya (Safrianti, 2013; Zian, 2016). Kondisi jenuh ini mengakibatkan terjadinya proses desorpsi sehingga laju adsorpsi menjadi berkurang (Purnama, 2016).

Proses adsorpsi logam Cu^{2+} menggunakan selulosa daun nanas dievaluasi dengan isoterm adsorpsi. Pada umumnya isotherm yang digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi yaitu isotherm Freundlich dan Langmuir. Tujuan penentuan jenis isotherm adalah untuk mengetahui mekanisme adsorpsi logam berat Cu^{2+} pada selulosa daun nanas (Astari dan Budi, 2018). Penentuan jenis isotherm adsorpsi dilakukan dengan membuat kurva persamaan regresi dari isotherm Freundlich dan isotherm Langmuir sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Plot grafik persamaan Langmuir



Gambar 3. Plot grafik persamaan Freundlich

Diketahui bahwa dari kedua plot grafik persamaan Langmuir dan Freundlich didapatkan persamaan regresi dan nilai R^2 , sehingga didapatkan konstanta dari masing-masing model tersebut berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2. Konstanta isoterm adsorpsi

Persamaan Isoterm	Konstanta	Nilai
Isoterm Langmuir	Q_m	0,24718
$\frac{Ce}{Qe} = \frac{Ce}{Q_m} + \frac{1}{K_L Q_m}$	K_L	-0,1332
	R^2	0,9941
Isoterm Freundlich	N	-0,81826
$\ln Qe = \ln K_f + \frac{1}{N} \ln Ce$	K_f	13,614
	R^2	0,9949

Berdasarkan hasil plot regresi pada Gambar 2 dan 3 didapatkan nilai R^2 yang ada pada Tabel 2. Nilai R^2 untuk isotherm Freundlich lebih besar dari pada isotherm Langmuir sehingga isotherm Freundlich lebih dipilih dalam proses adsorpsi ini. Menurut Kundari dan Wiyubiati (2008), penentuan hasil percobaan mengikuti model isotherm Langmuir atau model isotherm Freundlich, dapat dilihat berdasarkan nilai koefisien korelasi (R^2). Jika nilai R^2 semakin mendekati 1, maka hasil percobaan mengikuti model isotherm tersebut. Tambahkan referensi untuk mendukung hasil yang diperoleh adsorpsi logam Cu^{2+} mengikuti isotherm Freundlich.

Kinetika adsorpsi logam Cu^{2+} dilakukan dengan membandingkan persamaan orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga yang dapat dilihat pada persamaan 6, 7, 8, dan 9. Persamaan tersebut dibuat plot grafik sehingga didapatkan nilai R^2 dan k untuk masing-masing orde yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan konstanta terhadap persamaan model kinetika

Orde reaksi	Keterangan	Nilai
Orde nol	R^2	0,0361
	k_1	0,32051
Orde satu	R^2	0,0319
	k_1	0,01618
Orde dua	R^2	0,0279
	k_2	0,00083
Orde tiga	R^2	0,0241
	k_3	0,00004

Berdasarkan data kinetika adsorpsi pada Tabel 3, adsorpsi logam Cu^{2+} dengan selulosa-PVA sesuai dengan orde nol karena pada orde tersebut memiliki konstanta korelasi (R^2) yang paling besar. Hasil tersebut berdasarkan persamaan kinetika dihasilkan nilai konstanta (k_3) sebesar 0,00004. Konstanta korelasi yang kecil menunjukkan bahwa plot grafik menjadi tidak terlalu linier dikarenakan saat proses adsorpsi tidak dilakukan pengaturan pH. pH merupakan salah satu faktor penting pada proses adsorpsi karena perubahan tingkat keasaman larutan logam Cu^{2+} menyebabkan perubahan muatan pada permukaan adsorben maupun ion logam itu sendiri.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan adsorpsi logam Cu^{2+} dipengaruhi oleh waktu kontak proses adsorpsi, semakin lama waktu kontak maka persen *removal* semakin tinggi dan jika sudah mencapai titik jenuhnya akan mengalami desorpsi. Sehingga model isotherm adsorpsi dari data yang dihasilkan mengikuti model isotherm Freundlich dengan nilai N dan K_f masing-masing sebesar -0,81826 dan 13,614, serta kinetika adsorpsi mengikuti kinetika orde nol dengan nilai k_3 sebesar 0,00004.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) atas pemberian dana penelitian melalui Penelitian Dosen Pemula sesuai dengan Surat Perjanjian Kerja Penelitian Nomor: 3296/PL19.11/KU/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Sanjaya, A. S. dan Agustine, R. P. (2016) 'Studi Kinetika Adsorpsi Pb menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang', *Konversi*, 4(1).
- Apriani, N. (2018) 'Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya', *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, Februari, p. 21-29.
- Astari, Ayu, M. dan Utami, B. (2018) 'Uji Daya Adsorpsi Adsorben Kombinasi Sekam Padi dan Bagasse Fly Ash untuk Menyerap Logam Cu pada Sistem Batch', Surakarta, *Biology Education Conference*.
- Danish, M., Tanweer, A., Shahnaz, M., Mehraj, A., Lou, Z., Zhou Pin, dan S. M. S. Iqubal (2018) 'Use of Banana Trunk Waste as Activated Carbon in Scavenging Methylene Blue Dye: Kinetic, Thermodynamic, and Isotherm Studies', *Bioresource Technology*.
- Hermawan, I. (2011), 'Analisa Dampak Kebijakan Makroekonomi terhadap Perkembangan Industri Tekstil dan Produk Tekstil Indonesia', *Buletin Ekonomi Moneter dan Perbankan*.
- Hidayat, P. (2008) 'Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil', *Teknokin*, 13(2).
- Irmanto & Suyata (2010) 'Optimasi Penurunan Nilai BOD, COD dan TSS Limbah Cair Industri Tapioka Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi', *Molekul*, 5, p. 22-32.

- Kundari, N. A. dan Wiyuniati, S. (2008) 'Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit', *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*.
- Mahfuza, Y. (2005) 'Proses Oksidasi Lanjutan (Advanced Oxidation Process) sebagai Pra Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air', *Medan: Tesis Pasca Sarjana, Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Universitas Sumatera Utara.
- Martell, A. E. dan Hancock, R. D. (1996) 'Metal Complexes in Aqueous Solution'. New York: *Plenum Press*.
- Martina, D., Hastuti, R. dan Widodo, D. S. (2016) 'Peran Adsorben Selulosa Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dengan Polivinil Alkohol (PVA) untuk Penyerapan Ion Logam Timbal (Pb^{2+})', *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19 (3), p. 77 – 82.
- Matouq, M., Nina, J., Mohammed, Q., Muna, H., Maha, Q., dan Al Syouf (2015) 'The Adsorption Kinetics and Modeling for Heavy Metals Removal from Wastewater by Moringa pods', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3, p. 775-784.
- Mayangsari, N. E., Apriani, M. dan Veptiyan, E. D. (2019) 'Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas Comosus*) sebagai Adsorben Logam Berat Cu', *Journal of Research and Technology*, 5(2).
- Nafi'ah, R. (2016) 'Kinetika Adsorpsi Pb (II) dengan Adsorben Arang Aktif dari Sabut Siwalan', *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*, 1(2).
- Kementerian Pertanian (2016) 'Outlook Komoditas pertanian sub Sektor Hortikultura – Nenas', *Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal*.
- Purnama, Ningsih, D. A. dan Said, I. (2016) 'Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Dari Larutannya Dengan Menggunakan Adsorben Dari Tongkol Jagung', *Akad.Kim*, Issue 5.
- Safrianti, I., Wahyuni, N. dan Zaharah, T. A. (2017) 'Adsorpsi Timbal (II) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak', *Kimia Khatulistiwa*, 1(1), p. 1-7.
- Singh, S., Verma, L. K., Sambhi, S. S. dan Sharma, S. K. (2008) 'Adsorption Behaviour of Ni (II) from Water onto Zeolite X: Kinetics and Equilibrium Studies', *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*.
- Takarani, P., Novita, S. F. dan Fathoni, R. (2019) 'Pengaruh Massa dan Waktu Adsorben Selulosa dari Kulit Jagung Terhadap Konsentrasi Penyerapan', *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*.
- Zian, Ulfin, I. dan Harmani (2016) 'Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R Menggunakan Adsorben Nata de Coco', *Sains dan Seni ITS*, 5(2).