

Penentuan Konstanta Penjerapan Logam Nikel Pada Limbah Elektroplating Dengan Metode Adsorpsi Secara *Continue* Menggunakan Adsorben Eceng Gondok Teraktivasi

Determination Of Adsorption Constant Of Metal Nickel In Electroplating Waste With Continue Adsorption Method Using Activated Water Hyacinth

Emi Erawati ^{1*}, Rossi Al Ahmad ¹

¹ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Jln. A. Yani No 157, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah, 57169

Email : emi.erawati@ums.ac.id

ABSTRAK: Limbah elektroplating memiliki kandungan logam berat yang berbahaya, salah satunya yaitu nikel (Ni). Kandungan logam berat dalam air limbah elektroplating harus dikurangi supaya tidak membahayakan lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Kandungan logam pada limbah elektroplating dapat dihilangkan melalui metode adsorpsi dengan menggunakan serbuk eceng gondok sebagai adsorben. Pemilihan eceng gondok sebagai adsorben karena bisa mengurangi kadar logam pada air. Pembuatan serbuk eceng gondok yang diaktivasi dengan proses pencucian, pengeringan dan aktivasi dengan NaOH. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tinggi *packing* dan konsentrasi limbah terhadap efisiensi penjerapan dan tetapan penjerapan logam nikel (Ni) pada limbah elektroplating dengan metode adsorpsi menggunakan eceng gondok sebagai adsorben. Limbah elektroplating dialirkan secara kontinyu dengan kecepatan 120 g/menit ke dalam tabung adsorben yang sudah diisi dengan serbuk eceng gondok dengan variasi tinggi *packing* dan konsentrasi limbah elektroplating. Variasi tinggi *packing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6, 8, dan 10 cm. Variasi konsentrasi limbah sebesar 20 dan 40 g/mL. Sampel limbah kemudian diuji dengan Spektrofotometer AAS Shimadzu AA-6200. Berdasarkan penelitian nilai efisiensi penjerapan dan q_0 tertinggi didapatkan pada tinggi *packing* 10 cm sebesar 25% dan 487,134 mg/g. Nilai efisiensi penjerapan dan q_0 terendah didapatkan pada konsentrasi limbah 40 g/mL sebesar 16% dan 185,428 mg/g.

Kata kunci : adsorben eceng gondok; air limbah elektroplating; konsentrasi limbah; metode adsorpsi; nikel (Ni); tinggi *packing*.

ABSTRACT: Electroplating wastewater contains dangerous heavy metals, one of which is nickel (Ni). The content of heavy metals in electroplating wastewater must be reduced so as not to harm the environment and endanger human health. One method that can be used is the adsorption method using water hyacinth powder as an adsorbent. The choice of water hyacinth as an adsorbent because it can reduce metal content in the water. Production of activated water hyacinth powder by washing, drying, and activation process with NaOH. This study aims to determine the effect of variations in packing height and wastewater concentration on Thomas's constant and nickel (Ni) adsorption constant in electroplating wastewater by adsorption method using water hyacinth as adsorbent. Electroplating wastewater were operated in the continuous process at velocity of 120 g/min on to adsorbent storage which has been filled with water hyacinth powder with variations in packing height and electroplating waste concentration. The packing variations used in this study were 6, 8, and 10 cm. Variations in the concentration of waste were 20 and 40 g/mL. The waste samples were analyzed using AAS Spectrophotometer Shimadzu AA-6200. The results obtained indicate that the packaging height and the concentration of wastewater affect the decrease in nickel metal content where the higher the packaging, the higher the adsorption constant (q_0). Based on the research the highest value of adsorption efficiency and got in the packing height of 10 cm were 25% and 487.134 mg/g in that order. The lowest values of adsorption efficiency and q_0 got in the concentration of 40 g/mL were 16% and 185.428 mg/g respectively.

Keywords : adsorption method; electroplating wastewater; nickel (Ni); packing height; wastewater concentration; water hyacinth powder adsorbent.

1. PENDAHULUAN

Belakangan ini perkembangan industri logam di dunia semakin pesat, salah satunya yaitu industri elektroplating. (Li et al., 2019). Elektroplating adalah proses pelapisan dengan prinsip elektrokimia (Rasyad & Arto, 2018). Elektroplating menghasilkan limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan serta dapat mengakibatkan masalah global apabila langsung dibuang tanpa diolah terlebih dahulu. Hal ini disebabkan oleh sejumlah kandungan logam yang ada dalam limbah tersebut dapat membahayakan kesehatan manusia serta beracun apabila melebihi level kritisnya. Adapun kandungan logam yang terlarut dalam limbah elektroplating diantaranya adalah Cd, Zn, Cu, Ni, Pb, Hg, dan Cr (Ayalew et al., 2020).

Penurunan kadar logam pada limbah elektroplating bisa melalui proses pengolahan yaitu adsorpsi. Pemilihan pengolahan limbah cair elektroplating dengan metode adsorpsi dikarenakan prosesnya yang sederhana dan dapat memanfaatkan sisa biomassa yang tidak terpakai dari bahan alami sebagai adsorben (Widayatno et al., 2017). Adsorpsi merupakan teknik fisika-kimia melalui perpindahan massa antara fase cair dan padat dengan memanfaatkan polimer alam (biopolimer) sebagai adsorben (Ahmad et al., 2020). Adsorben yang digunakan berasal dari tumbuhan eceng gondok. Penggunaan eceng gondok sebagai adsorben karena eceng gondok

dapat mengikat polutan logam berat terutama bagian akar eceng gondok yang dapat membentuk zat khelat sebagai fitosiderofor untuk mengikat logam yang ada dalam limbah ke dalam sel akar (Kwartiningsih & Setiaini, 2005).

Elektroplating merupakan proses pelapisan logam dalam larutan elektrolit dengan memanfaatkan arus listrik (Kwartiningsih & Setiaini, 2005). Proses elektroplating dilakukan dengan menggunakan bejana yang terisi larutan elektrolit dengan komposisi bahan kimia tertentu sesuai dengan jenis logam yang akan digunakan sebagai pelapis dengan dialiri arus searah melewati anoda yang berupa logam yang akan dilapisi. Proses elektroplating menghasilkan limbah cair mengandung berbagai macam jenis logam berat yang berbahaya dan berasal dari logam pelapis yang terlarut dan campuran senyawa kimia yang terdapat di dalam larutan elektrolit (Jauharoh et al., 2020). Limbah cair elektroplating jika tersentuh oleh tubuh manusia dapat mengakibatkan iritasi pada kulit, selaput lendir, selaput mata, dan saluran pernafasan. Limbah elektroplating jika masuk ke dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan mual, pusing, lemas bahkan dapat menyebabkan terjadinya kematian (Kristyaka, 2018).

Eceng gondok tergolong sebagai gulma air dengan pertumbuhan eceng gondok yang sangat cepat, dapat menyebabkan masalah lingkungan dan menutupi permukaan air. Namun, eceng gondok memiliki kemampuan untuk

menyerap zat organik dan anorganik serta logam berat sebagai bahan pencemar dalam air. Eceng gondok memiliki kemampuan untuk membentuk fitokelatin atau senyawa peptida yang mempunyai toleransi tinggi untuk mengkelat kandungan logam dalam limbah cair elektroplating dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan lanjutan untuk memanfaatkan fungsi dari tanaman eceng gondok, salah satunya menjadikannya adsorben pada pengolahan limbah elektroplating (Djo et al., 2017).

2. METODE PENELITIAN

Adsorpsi limbah elektroplating menggunakan serbuk eceng gondok teraktivasi diawali dengan persiapan bahan baku dan air limbah elektroplating. Sistem operasi secara kontinu dan variabel penelitian berupa variabel kontrol, variabel bebas dan variabel terikat.

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah bak penampung, blender, botol sampel, kaca arloji, gelas beker, *magnetic stirrer*, neraca analitik, oven, pompa, tabung adsorben, dan Spektrofotometer AAS Shimadzu AA-6200.

2.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain: akuades, larutan standar nikel, limbah elektroplating, NaOH (Merck), dan serbuk eceng gondok.

2.2 Prosedur

2.2.1 Variabel penelitian

a) Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- 1) Variasi tinggi *packing*: 6, 8, dan 10 cm
- 2) Variasi konsentrasi limbah: 20 dan 40 g/mL

b) Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah penurunan kadar nikel

c) Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

- 1) Laju alir sebesar 0,12 L/ menit
- 2) Waktu adsorpsi: 0, 15, 30, dan 45 menit

2.2.2 Prosedur penelitian

a) Pembuatan adsorben

Tanaman eceng gondok yang diperoleh dari Waduk Cengklik, Boyolali, Jawa Tengah. Sedangkan limbah elektroplating berasal dari limbah pabrik nikel di Palur, Karanganyar, Jawa Tengah. Eceng gondok dipisahkan daun, batang, dan akarnya. Kemudian daun batang, akar dipotong kecil-kecil, dan dikeringkan dengan oven pada temperatur 90°C selama 50 menit. Sampel yang telah kering kemudian dihaluskan dengan *blender* (Azhari R et al., 2017).

1) Aktivasi adsorben

Eceng gondok yang telah halus direndam dengan NaOH 0,1 N

selama 12 jam dan dibilas dengan aquades hingga pH 7.

2) Analisis kadar air

Serbuk eceng gondok yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam cawan porselen kemudian di timbang dan dikeringkan dengan *furnace* pada temperatur 150°C selama 3 jam setelah itu ditimbang kembali.

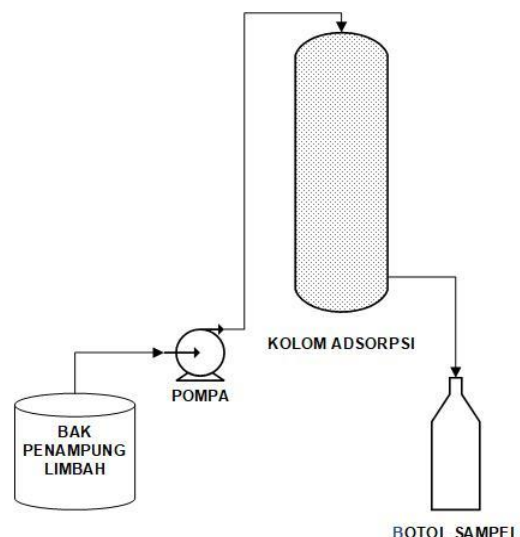
3) Analisis kadar abu

Serbuk eceng gondok yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam cawan porselen kemudian di timbang dan dikeringkan dengan *furnace* pada temperatur 300°C selama 6 jam hingga menjadi abu setelah itu ditimbang kembali.

4) Pembuatan limbah cair elektroplating

Limbah cair elektroplating sebanyak 20 dan 40 mL dilarutkan dengan aquades 1 L kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 5 menit. Proses ini diulang pada variasi tinggi packing 6, 8, dan 10 cm kemudian ditampung dalam bak penampung.

5) Adsorpsi limbah elektroplating



Gambar 1. Proses adsorpsi kontinyu

Bak penampung yang telah terisi limbah elektroplating yang telah diencerkan dengan variasi 20 dan 40 g/mL dipasang pompa, limbah dialirkan dengan pompa melewati kolom adsorpsi, dan ditampung dengan botol sampel kemudian sampel diambil sesuai waktu yang ditentukan. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi tinggi *packing* dan konsentrasi limbah yang telah ditentukan.

6) Pembuatan kurva standar

Larutan nikel dengan kadar 100 ppm diencerkan dengan cara dimasukkan ke dalam labu ukur dan ditambahkan aquades sehingga kadarnya menjadi 50 ppm. Kemudian diencerkan kembali secara perlahan dengan urutan penurunan kadar yaitu 6, 8 dan 10 ppm. Larutan standar 6 ppm di encerkan dengan variasi sebanyak 1, 2, 3, 4, 5 ppm dan disimpan dalam botol kaca. Larutan

standar di uji kandungan logamnya dengan menggunakan Spektrofotometer AAS Shimadzu AA-6200. Hasil uji digunakan sebagai pembandingan hasil uji filtrat.

7) Analisis adsorbansi kadar nikel

Filtrat yang diperoleh dari hasil adsorpsi diambil sebanyak 10 mL di dalam botol kaca dan dianalisis dengan Spektrofotometer AAS Shimadzu AA-6200 untuk menganalisis pengurangan konsentrasi logam nikel pada limbah elektroplating dengan cara pengujian sampel pada Spektrofotometer AAS (Shimadzu AA-6200).

2.3 Analisis data

2.3.1 Penentuan efisiensi penjerapan

Efisiensi penjerapan dapat ditentukan dengan membandingkan konsentrasi limbah sebelum proses adsorpsi dan konsentrasi limbah setelah proses adsorpsi.

$$Efisiensi = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

Efisiensi = Efisiensi penjerapan

C_0 = konsentrasi limbah mula-mula (g/mL)

C_t = konsentrasi limbah setelah proses adsorpsi (g/mL)

2.3.2 Penentuan tetapan penjerapan

Penentuan tetapan penjerapan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Widayatno et al., 2017):

$$\ln \left[\frac{C_0}{C} - 1 \right] = \frac{K_{Th} \times q_0 \times w}{Q} - \frac{K_{Th} \times C_0 \times V}{Q} \quad (2)$$

Dimana:

C_0 : konsentrasi zat terjerap dalam penjerap pada $t = 0$ menit (g/100 g)

C : konsentrasi zat terjerap dalam penjerap pada t menit (g/100 g)

q_0 : konsentrasi maksimum /jenuh zat terjerap dalam penjerap (g/100)

K_{Th} : tetapan penjerapan (1/jam)

W : massa penjerap (g)

V : massa larutan / limbah yang melewati penjerap (g)

Q : laju alir larutan / limbah yang melewati penjerap (g/jam)

2.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mendapatkan data konsentrasi limbah setelah proses adsorpsi terhadap tinggi *packing* dan konsentrasi limbah awal untuk menghitung nilai efisiensi penjerapan, konstanta Thomas dan tetapan penjerapan. Data yang diambil adalah konsentrasi limbah mula mula dan konsentrasi limbah setelah adsorpsi.

2.5 Populasi dan Sampel Penelitian

Sampel yang digunakan adalah limbah elektroplating sebanyak 5.000 mL pada variasi konsentrasi limbah 20 dan 40 g/mL. Pada setiap variasi konsentrasi limbah ada 4

sampel yang diuji. Sedangkan pada variasi tinggi *packing* 6, 8, dan 10 cm. Tiap variasi *packing* ada 3 sampel yang diuji. Sampel diuji kandungan logam dengan nikel dengan menggunakan Spektrofotometri AAS (Shimadzu AA-6200).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian serbuk eceng gondok didapatkan nilai kadar air sebesar 4,7% dan nilai kadar abu sebesar 16,8%.

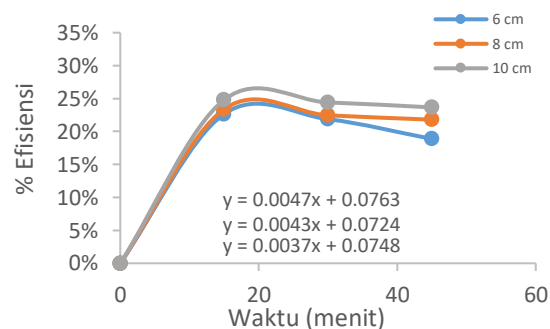
Setelah pengujian kadar air dan kadar abu serbuk eceng gondok teraktivasi siap digunakan sebagai adsorben. Pengujian selanjutnya yaitu proses adsorpsi air limbah elektroplating dengan adsorben serbuk eceng gondok yang teraktivasi yang dilakukan secara kontinyu dimana air limbah dialirkan secara terus menerus ke dalam tabung adsorpsi yang telah diisi dengan adsorben dengan variasi tinggi yaitu 6, 8, dan 10 cm serta variasi konsentrasi limbah.

Pengujian yang dilakukan untuk mencari nilai efisiensi penjerapan, nilai konstanta Thomas dan tetapan penjerapan. Hasil pengujian dan perhitungan telah dikali dengan variasi konsentrasi limbah elektroplating di mana saat variasi konsentrasi limbah 20 g/mL maka hasil pengujian dan perhitungan dikalikan 1000/20 dan pada variasi konsentrasi limbah dikalikan dengan 1000/40. Maka hasil pengujian dan perhitungan merupakan hasil dari limbah murni yang didapat dari salah satu industri

pelapisan logam dengan metode elektroplating.

3.1 Pengaruh Tinggi *Packing* Terhadap Efisiensi Penjerapan

Gambar 2 merupakan hubungan antara perubahan waktu terhadap efisiensi penjerapan pada variasi tinggi *packing* 6, 8, dan 10 cm.



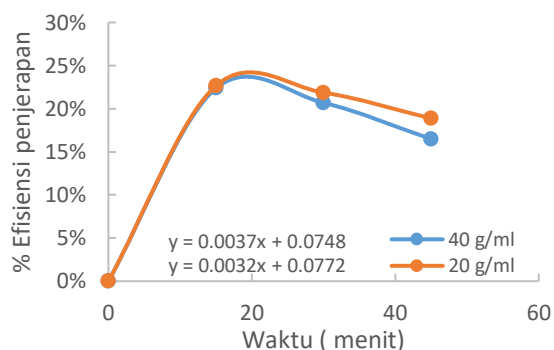
Gambar 2. Pengaruh tinggi *packing* terhadap efisiensi penjerapan

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi didapatkan pada tinggi *packing* 10 cm dan waktu 15 menit sebesar 25% sedangkan efisiensi terkecil didapatkan pada tinggi *packing* 6 cm dan waktu 45 menit sebesar 19% hal tersebut membuktikan bahwa variasi tinggi *packing* berpengaruh terhadap nilai efisiensi penjerapan.

3.2 Pengaruh Konsentrasi Limbah Terhadap Efisiensi Penjerapan

Pada Gambar 3 merupakan hubungan antara waktu adsorpsi terhadap efisiensi penjerapan pada variasi konsentrasi limbah 20 dan 40 g/mL. Efisiensi tertinggi terjadi pada variasi konsentrasi limbah sebesar 20 g/mL pada waktu 20 menit. Sedangkan efisiensi

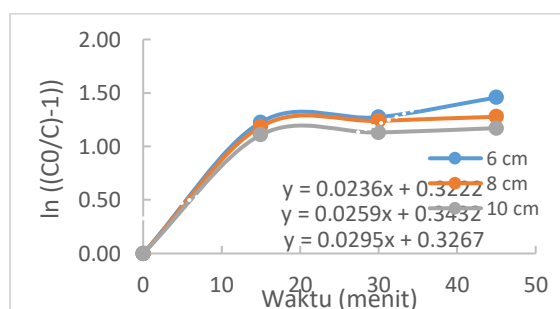
terndah terjadi pada konsentrasi limbah 40 g/mL pada waktu 40 menit.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi adsorben terhadap efisiensi penjerapan

3.3 Pengaruh Tinggi Packing Terhadap Konstanta Thomas dan Tetapan Penjerapan

Pada Gambar 4 merupakan hubungan antara waktu adsorpsi terhadap konsentrasi limbah setelah dijerap dengan menggunakan eceng gondok pada variasi tinggi *packing* 6, 8, dan 10 cm.



Gambar 4. Pengaruh tinggi *packing* terhadap konstanta Thomas dan tetapan penjerapan

Nilai K_{th} (konstanta Thomas) dan q_0 (tetapan penjerapan) didapatkan dari perhitungan persamaan Thomas. Dimana data laju alir sebesar 0,12 L/menit, berat adsorben pada tinggi *packing* 6, 8, dan 10

cm secara berurutan adalah 8,362 g, 11,773 g dan 14,443 g. Perhitungan nilai K_{th} dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3), (4), dan (5).

$$\ln\left(\left(\frac{C_0}{C_t}\right) - 1\right) = \frac{K_{th} \times q_0 \times X}{Q} - K_{th} \times C_0 \times t \quad (3)$$

$$a = K_{th} \times C_0 \quad (4)$$

$$K_{th} = \frac{a}{C_0} \quad (5)$$

Dari perhitungan dengan Persamaan (3), (4), dan (5) didapatkan nilai K_{th} (konstanta Thomas) seperti yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh tinggi *packing* terhadap nilai K_{th}

Tinggi packing (cm)	K_{th} (menit ⁻¹)
6	$1,61 \times 10^{-2}$
8	$1,72 \times 10^{-2}$
10	$1,63 \times 10^{-2}$

Hasil perhitungan nilai K_{th} (konstanta Thomas) digunakan untuk mencari nilai q_0 (tetapan penjerapan) dengan menggunakan rumus (6) dan rumus (7)

$$b = \frac{K_{th} \times q_0 \times X}{Q} \quad (6)$$

$$q_0 = \frac{b \times Q}{K_{th} \times X} \quad (7)$$

Hasil perhitungan nilai q_0 (tetapan penjerapan) dengan rumus (6) dan (7) didapatkan nilai q_0 pada variasi tinggi *packing* dapat dilihat pada Tabel 2.

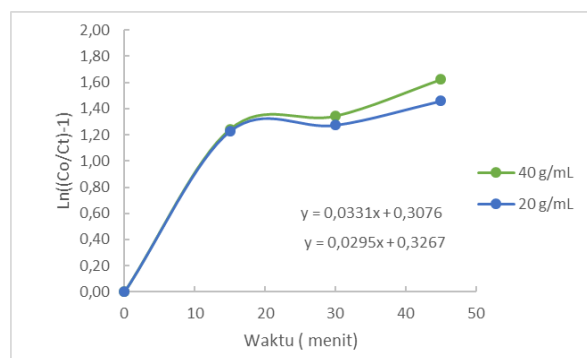
Tabel 2. Pengaruh tinggi *packing* terhadap nilai q_0

Tinggi <i>packing</i> (cm)	q_0 (g/100)
6	$2,10 \times 10^{-2}$
8	$1,54 \times 10^{-2}$
10	$1,50 \times 10^{-2}$

Tinggi *packing* berpengaruh terhadap nilai q_0 (tetapan penjerapan) dimana semakin tinggi *packing* semakin tinggi nilai q_0 begitu juga dengan waktu, semakin lama waktu adsorpsi, semakin besar nilai q_0 .

3.4 Pengaruh konsentrasi limbah terhadap nilai Konstanta Thomas dan nilai Tetapan Penjerapan

Gambar 5 merupakan hubungan antara waktu adsorpsi dengan konsentrasi limbah setelah dijerap dengan eceng gondok pada variasi konsentrasi 20 dan 40 g/mL.

**Gambar 5. Pengaruh konsentrasi limbah terhadap nilai K_{th} dan q_0**

Dari Gambar 5 didapatkan perbandingan nilai K_{th} dan q_0 dengan pengaruh variasi konsentrasi limbah. Data persamaan linear dengan variasi konsentrasi limbah Dengan penyelesaian

persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung nilai K_{th} dan nilai q_0 .

Tabel 3 merupakan nilai K_{th} (konstanta Thomas) pada variasi konsentrasi limbah.

Tabel 3. Pengaruh konsentrasi limbah terhadap nilai K_{th}

Konsentrasi Limbah (g/mL)	K_{th} (menit ⁻¹)
20	$1,54 \times 10^{-2}$
40	$8,12 \times 10^{-3}$

Hasil perhitungan nilai K_{th} (konstanta Thomas) kemudian digunakan untuk mencari nilai q_0 (tetapan penjerapan), nilai q_0 yang didapatkan dari Persamaan (3), (4), dan (5) untuk variasi konsentrasi limbah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh konsentrasi limbah terhadap nilai q_0

Konsentrasi Limbah (g/mL)	q_0 (g/100)
20	$3,088 \times 10^{-2}$
40	$5,18 \times 10^{-2}$

Konsentrasi limbah berpengaruh terhadap nilai q_0 dimana semakin sedikit limbah yang digunakan maka semakin besar nilai q_0 . Hal tersebut terjadi karena adsorben eceng gondok sudah melewati titik jenuh dimana tidak bisa menyerap logam yang ada pada limbah elektroplating.

3.5 Perbandingan dengan penelitian sejenis

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang nilai konstanta Thomas dan tetapan penjerapan pada penelitian adsorpsi timbal dalam limbah artifisial menggunakan cangkang kelapa sawit sebagai adsorben dengan proses adsorpsi secara kontinyu (Sylvia et al., 2017).

Tabel 5. Nilai K_{th} dan q_0 pada penelitian sejenis

laju alir (L/menit)	X (gr)	K_{th}	q_0	t (jam)
6	50,8	0,0016	80,133	68
10	50,8	0,0026	106,799	48
14	50,8	0,0028	134,949	36

Hasil perbandingan menunjukkan perbedaan dimana nilai K_{th} lebih besar dan nilai q_0 lebih kecil sedangkan pada penelitian ini nilai K_{th} lebih kecil dan nilai q_0 lebih besar hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan laju alir, fluida yang di adsorpsi, jenis, dan massa adsorben yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben dari serbuk eceng gondok yang teraktivasi bisa menyerap air limbah yang mengandung logam berat seperti nikel.

KESIMPULAN

Dari pembahasan hasil penelitian analisis tinggi packing dan konsentrasi limbah elektroplating terhadap penurunan kadar nikel pada limbah elektroplating

dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben eceng gondok teraktivasi, dapat disimpulkan :

1. Eceng gondok dapat dijadikan sebagai adsorben untuk air limbah yang mengandung logam berat.
2. Tinggi *packing* berpengaruh terhadap nilai efisiensi penjerapan, semakin tinggi *packing* maka semakin besar nilai efisiensi penjerapan.
3. Konsentrasi limbah berpengaruh terhadap efisiensi penjerapan semakin tinggi konsentrasi limbah maka semakin kecil nilai efisiensi penjerapan.
4. Tinggi *packing* berpengaruh terhadap nilai K_{th} dan q_0 dimana semakin tinggi *packing* maka semakin besar nilai q_0 .
5. Konsentrasi limbah berpengaruh terhadap nilai K_{th} dan q_0 dimana semakin tinggi konsentrasi limbah maka nilai q_0 semakin kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membiayai Penelitian ini melalui Skim Penelitian Individu Dosen Tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Khabibi, Nuryanto, R., & Haris, A. (2020). Adsorpsi Ion Tembaga (II) Dengan Kitosan Dari Kulit Udang Putih Yang Termodifikasi Tripolifosfat. *Media Bina Ilmiah*, 14(6), 2781–2790.
- Ayalew, Z. M., Zhang, X., Guo, X., Ullah,

- S., Leng, S., Luo, X., & Ma, N. (2020). Removal of Cu, Ni and Zn directly from acidic electroplating wastewater by Oligo-Ethyleneamine dithiocarbamate (OEDTC). *Separation and Purification Technology*, 248(117114), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117114>
- Azhari R, M., Saleh, C., & Yusuf, B. (2017). Pemanfaatan Serbuk Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Teraktivasi Dengan Sistem Kantong Celup Sebagai Adsorben Penjerap Ion Logam Kadmium (Cd). *Jurnal Atomik*, 02(2), 197–203.
- Djo, Y. H. W., Suastuti, D. A., Suprihatin, I. E., & Sulihingtyas, W. D. (2017). Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Untuk Menurunkan COD dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 6(2), 137–144.
- Jauharoh, A. H., Nurmiyanto, A., & Yulianto, A. (2020). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Kegiatan Pelapisan Logam (Elektroplating) Skala Kecil Dan Menengah (IKM X) di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 12(1), 25–44.
- Kristyaka, H. S. R. (2018). Optimasi Kondisi Proses Pengendapan Hidroksida Logam - Logam Berat Kromium Dan Nikel secara Bertingkat Dalam Limbah Cair Elektroplating Hayu. *Jurnal Ilmiah Kanderang Tingang*, 9(2), 150–165.
- Kwartiningsih, E., & Setiawati, N. (2005). ADSORBSI LOGAM Cu DARI LIMBAH ELEKTROPLATING MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DALAM KOLOM FIXED BED. *Ekulilibrium*, 4(2), 78–84.
- Rasyad, A., & Arto, B. (2018). Analisis Pengaruh Temperatur, Waktu, dan Kuat Arus Proses Elektroplating terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 173–182. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.4>
- Sylvia, N., Meriatna, Hakim, L., Fitriani, & Fahmi, A. (2017). Kinerja Kolom Adsorpsi pada Penjerapan Timbal (Pb²⁺) dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(4), 185–190.
- Widayatno, T., Yuliatwati, T., & Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 17–23.
- Widayatno, T., Yuliatwati, T., Susilo, A. A., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., & Muhammadiyah, U. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif.

Jurnal Teknologi Bahan Alam, 1(1),
17–23.