

**PENGARUH ION BESI TERHADAP PENYISIHAN ION NIKEL DARI AIR LIMBAH
ELEKTROPLATING MENGGUNAKAN REAKTOR *DOUBLE CHAMBER
ELECTRODEPOSITION CELL (DCEC)***

**THE EFFECT OF IRON ION TO THE REMOVAL OF NICKEL ION FROM
ELECTROPLATING WASTEWATER USING DOUBLE CHAMBER
ELECTRODEPOSITION CELL (DCEC) REACTOR**

Djaenudin^{1*}, Dani Permana¹

¹Loka Penelitian Teknologi Bersih, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Bandung, Indonesia

*email : aburizki@yahoo.com, djae004@lipi.go.id

Received August 26, 2016; **Accepted** May 10, 2017; **Available online** May 30, 2017

ABSTRAK

Kehidupan masyarakat modern menuntut kemajuan teknologi industri agar memproduksi produk-produk yang memiliki daya tahan tinggi dan berumur panjang. Material logam berbahan besi menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan industri. Logam besi bersifat korosif dan butuh perawatan lebih untuk menunjang performanya. Elektroplating atau proses pelapisan logam besi dengan nikel menjawab permasalahan tersebut. Dalam proses produksi, penggunaan nikel hanya 30%-40% dan sisanya mengalir bersama efluen. Nikel merupakan logam berat beracun yang dapat menyebabkan kanker. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi besi terhadap penyisihan logam nikel dalam air limbah elektroplating menggunakan reaktor elektrolitik bersekat/*double chamber electrodeposition cell (DCEC)*. Variasi rasio konsentrasi ion logam besi terhadap nikel yang diteliti adalah 0%; 1,29%; 1,73% dan 2,44%. Parameter yang diuji meliputi pH, daya hantar listrik, kuat arus, efisiensi penyisihan logam nikel, efisiensi arus dan energi spesifik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan setiap variasi konsentrasi besi memberikan dampak berbeda-beda terhadap efisiensi penyisihan nikel, efisiensi arus dan energi spesifik. Dari keempat variasi, rasio besi 1,29% menyisihkan 83,1% nikel (efisiensi penyisihan tertinggi) namun membutuhkan energi spesifik sebesar 20,687 kwh/kg. Energi tersebut merupakan kebutuhan energi tertinggi. Sedangkan variasi rasio besi 1,73% memiliki efisiensi penyisihan terendah 63,6% dengan kebutuhan energi spesifik terendah pula, yaitu 15,067 kwh/kg.

Kata kunci : Besi, *double chamber electrodeposition cell*, penyisihan, nikel.

ABSTRACT

Modern society demands industrial technology advances to produce products that have high durability and long utilization lives. Materials made from ferrous metal become a solution to meet these industry needs. Ferrous metal is corrosive and it requires more care to support the performance. Electroplating or metal coating applied to iron or nickel solves this problem. In the production process, the usage of nickel is only 30%-40% and the remaining 60-70% is wasted through effluent. Nickel is a toxic heavy metal that can cause cancer. The purpose of this study is to evaluate the effect of iron concentration on nickel metal removal in electroplating wastewater using an insulated electrolytic reactor double chamber electrodeposition cell (DCEC). The result of this study shows that any ratio variation of iron concentration to nickel gives varying impacts on nickel removal efficiency, electric current efficiency, and specific energy. On the fourth variation, the iron ratio of 1.29% removed 83.1% nickel (the highest removal efficiency) at the cost of 20.687 kWh / kg specific energy. The number is extremely high for energy needs. On the other hand, the variation of iron ratio of 1.73% consuming only 15.067 kWh / kg, the lowest specific energy needs, resulted in the lowest removal efficiency of 63.6%.

Keyword: double chamber electrodeposition cell iron, removal, nikel

PENDAHULUAN

Kehidupan masyarakat modern menuntut kemajuan teknologi industri agar memproduksi produk-produk yang memiliki daya tahan kuat dan awet (umur panjang). Untuk memenuhi kualitas produk tersebut, pilihan jatuh pada material berbahan logam,

logam murni maupun logam paduan. Namun terdapat beberapa upaya yang harus dilakukan untuk memaksimalkan performa logam mengingat logam merupakan suatu bahan anorganik yang tidak dapat diperbaharui (Pramujo dan Isdiriyani, 2011). Salah satu faktor yang menyebabkan daya guna logam

menurun adalah korosi, sehingga membutuhkan perawatan lebih agar dapat tahan lama dalam penggunaannya (Dersmentzis, 2010). Korosi merupakan masalah serius dalam penggunaan bahan dari logam, karena mengakibatkan kerusakan seperti lubang kecil, keretakan yang meluas menjadi celah pada permukaan logam. Salah satu contoh korosi adalah karat pada besi.

Elektroplating adalah proses pelapisan logam dengan logam lainnya dengan bantuan arus listrik melalui suatu elektrolit. Logam yang akan dilakukan pelapisan harus merupakan konduktor atau dapat menghantarkan arus listrik. Logam yang biasanya digunakan pada proses elektroplating adalah seng (Zn), tembaga (Cu), krom (Cr), perak (Ag), emas (Au), dan nikel (Ni) (Cempel and Nikel, 2006, Reck, Müller, Rostkowski & Graede, 2008). Kelebihan dari elektroplating ini adalah temperatur proses yang rendah, peralatan yang digunakan relatif murah, memiliki laju pengendapan yang cepat, dan memiliki porositas yang rendah pada lapisan, sedangkan kekurangannya adalah dibutuhkan perlakuan awal pada benda yang akan dilapisi logam dan proses hanya dapat dilakukan pada benda yang bersifat konduktor (Akuan, 2009).

Secara efektif hanya 30-40% nikel yang terpakai dalam proses pelapisan, sisa nikel yang terbuang akan menjadi limbah dalam bentuk ion Ni^{2+} . Nikel dalam limbah industri perlu diolah. Menurut Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang *Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun*, limbah dari industri elektroplating merupakan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan (Purwanto dan Huda, 2005; Marafi and Stanislaus, 2008a, 2008b; Pramujjo dan Isdiriyani, 2011). Salah satunya adalah penyakit kanker pada paru-paru dan rongga hidung manusia jika terkena kontak langsung (Dermentzis, 2010).

Pada penelitian sebelumnya digunakan reaktor elektrolit yang terdiri dari dua buah *chamber*, satu *chamber* berisi limbah artifisial nikel untuk penempatan katoda yang disebut katolit dan *chamber* lainnya berisi larutan asam untuk penempatan anoda yang disebut anolit. Kedua *chamber* tersebut dipisahkan oleh sebuah membran agar pengotor dari setiap elektrolit tidak saling mengotori satu

sama lain (Lian, Feng, Zhe Liu & Jun Liu, 2012, Coman, Robotin & Ilea, 2013). Selain itu, penempatan membran diharapkan berperan sebagai penukar ion H^+ dari hasil proses oksidasi pada anoda di anolit menuju katolit. Jadi, penggunaan reaktor membran elektrodeposisi ini diharapkan dapat mengoptimalkan proses elektrodeposisi nikel di katoda (Doan and Saidi, 2008; Doan, Weli & Wu, 2009; Zanaty, Wael, & Nabawia, 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti pengaruh keberadaan kadar besi terlarut terhadap penyisihan logam nikel dalam limbah elektroplating. Hasil penelitian diharapkan dapat menurunkan kadar nikel pada air limbah elektroplating hingga mencapai konsentrasi 1 mg/L sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-51/MENLH/10/1995 tentang *Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri* (Pramujjo dan Isdiriyani, 2011).

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Reaktor elektrodeposisi dengan dua ruang (*double chamber*) (**Gambar 1**), reactifier sebagai sumber tegangan (V) dan arus (A), digital multimeter (Sanwa PC Link PC510a), pH meter (Mettler Toledo MP220), conductometer (Sanwa), pipet, *beaker glass*, dan Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS)

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu nikel sulfat anhidrat (NiSO_4), Besi (II) sulfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), natrium sulfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), asam sulfat (H_2SO_4), daun eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai membran penukar ion alami, dan akuades.

Prosedur

Persiapan limbah artifisial

Bahan utama dalam penelitian ini adalah limbah artifisial industri elektroplating. Limbah artifisial dibuat dengan karakteristik sesuai dengan limbah asli dengan konsentrasi nikel 2000 mg/L (Dermentzis, 2010). Variasi rasio konsentrasi besi ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) terhadap nikel yang digunakan adalah 0%; 1,29% (b/v); 1,73%; dan 2,44%. Volume limbah artifisial yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4 liter. Pada campuran limbah ditambahkan garam natrium sulfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 0,2M) sebagai *electrolyte support* yang berbasis ion Na^+ .

Persiapan reaktor

Campuran limbah (nikel, besi, dan garam) adalah katolit sedangkan untuk anolit menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4 0,2 M). Plat grafit berukuran $4\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ digunakan sebagai anoda (kutub positif) (Riyanto, 2013). Plat tembaga dengan ukuran yang sama digunakan sebagai katoda. Membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun eceng gondok yang memiliki ukuran pori mencapai 6,158 nm (Zanaty, et. al., 2013). Eceng gondok yang digunakan diambil dari kolam di daerah Cibiru Kabupaten Bandung. Karakteristik tumbuhan eceng gondok yang diambil memiliki tinggi $\pm 45\text{ cm}$; diameter batang 3,8 cm; lebar daun $\pm 16\text{ cm}$; Daun eceng gondok tidak memerlukan perlakuan khusus sebelum digunakan, namun cukup dibersihkan dengan air bersih (Priyono, 2013). Tegangan listrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5 volt, karena pada tegangan tersebut diperoleh hasil elektrodeposisi nikel yang optimum. Reaktor DCEC ditunjukkan pada **Gambar 1**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Penyisihan Nikel

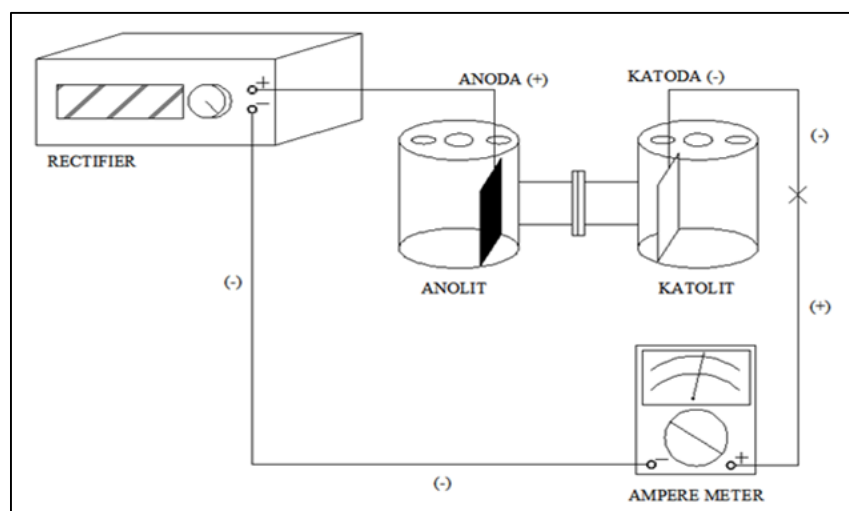
Hasil efisiensi penyisihan nikel selama penelitian 24 jam yang ditentukan dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) ditunjukkan pada **Tabel 1**. Sampel limbah yang diambil setiap 4 jam selama 24 jam dianalisa dengan menggunakan metode AAS. Dari hasil analisa tersebut didapatkan persentase efisiensi penyisihan ion nikel di dalam limbah artifisial. Penurunan konsentrasi ion nikel terjadi secara bertahap dari jam ke-0

hingga jam ke-24. Keberadaan ion besi di dalam limbah artifisial memberikan dampak yang berbeda di setiap persentasi kehadirannya. Dalam percobaan elektrodeposisi yang menggunakan limbah nikel tanpa penambahan ion logam besi (Fe 0%) dapat menyisihkan nikel sebanyak 70%. Persentasi efisiensi penyisihan ion nikel meningkat pada variasi rasio $\text{Fe}^{2+}/\text{Ni}^{2+}$ 1,29% yaitu 83,1%. Berbeda halnya dengan variasi rasio $\text{Fe}^{2+}/\text{Ni}^{2+}$ 1,73%. Pada konsentrasi ini penyisihan terhadap nikel menurun, yaitu 63,6%. Namun efisiensi kembali meningkat pada variasi rasio $\text{Fe}^{2+}/\text{Ni}^{2+}$ 2,44%, yaitu 75,4%. Dari keempat konsentrasi penambahan ion logam besi, efisiensi penyisihan ion nikel terendah pada rasio $\text{Fe}^{2+}/\text{Ni}^{2+}$ sebesar 1,73%, sedangkan efisiensi tertinggi terjadi pada rasio $\text{Fe}^{2+}/\text{Ni}^{2+}$ 1,29%.

Penurunan konsentrasi ion nikel juga dapat dilihat secara kasat mata dari perubahan warna pada limbah artifisial yang berperan sebagai katolit. Semula katolit berwarna hijau, kemudian memudar selama percobaan berlangsung. Warna hijau pada limbah merupakan warna dari Ni^{2+} terlarut. Memudarnya warna hijau mengindikasikan berkurangnya konsentrasi Ni^{2+} terlarut dalam katolit yang disebabkan oleh reaksi reduksi. Reaksi tersebut mereduksi Ni^{2+} terlarut menjadi Ni^0 yang bersifat padat dan terdeposisi ke permukaan katoda.

Efisiensi Penyisihan Ion Besi

Hasil efisiensi penyisihan ion logam besi selama penelitian 24 jam yang ditentukan dengan menggunakan metode AAS ditunjukkan pada **Tabel 2**.



Gambar 1. Reaktor Elektrodeposisi

Tabel 1. Efisiensi Penyisihan Nikel

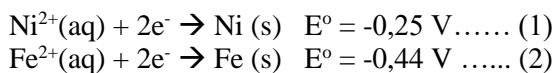
Variasi Konsentrasi Fe	Konsentrasi Nikel (mg/L)			Efisiensi (%)
	Awal (jam ke-0)	Akhir (jam ke-24)	Selisih	
0%	2094,248	627,625	1466,623	70
1,29%	2094,248	354,875	1739,373	83,1
1,73%	2094,248	761,938	1332,310	63,6
2,44%	2094,248	516,125	1578,123	75,4

Tabel 2. Efisiensi Penyisihan Ion Besi

Variasi Konsentrasi Fe	Konsentrasi Ion Besi (mg/L)			Efisiensi (%)
	Awal	Akhir	Selisih	
1,29%	25,165	13,05	12,1147	48,1
1,73%	36,009	19,213	16,796	46,6
2,44%	49,904	19,951	29,953	60

Pada **Tabel 2** ditunjukkan penurunan konsentrasi ion besi terjadi secara bertahap di setiap jamnya. Pada rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,29%, penyisihan ion besi mencapai 48,1% dari konsentrasi ion besi awal. Namun pada rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,73% justru terjadi penurunan efisiensi hingga dari variasi konsentrasi sebelumnya, yaitu 46,6%. Pada rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 2,44%, efisiensi penyisihan ion besi meningkat hingga 60%.

Grafik penurunan konsentrasi ion nikel dan besi memiliki kecenderungan yang serupa, yaitu berkurang secara bertahap pada setiap jamnya. Hal ini disebabkan oleh nilai potensial reduksi (E^0) kedua unsur memiliki perbedaan nilai yang dekat.

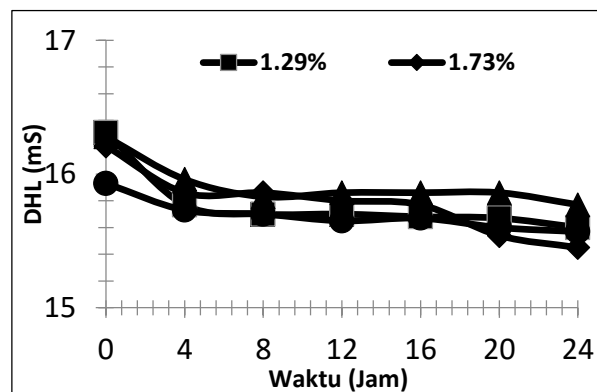


Keduanya memiliki nilai potensial reduksi negatif (persamaan 1 dan 2). Bila dibandingkan dengan besi, nikel memiliki

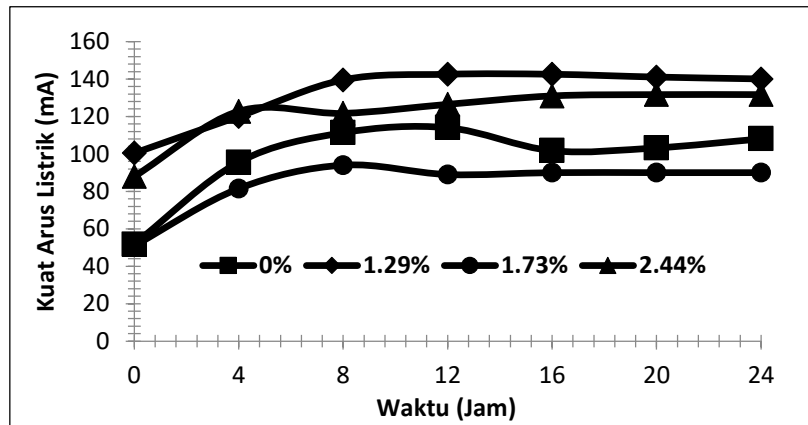
nilai yang lebih besar atau lebih mendekati nol. Semakin dekat nilai potensial dengan nol maka unsur tersebut akan lebih mudah mengalami reduksi. Secara teori, nikel akan lebih dulu mengalami reduksi. Mengingat konsentrasi nikel jauh lebih banyak dari besi dan jarak selisih E^0 keduanya sangat dekat, yaitu 0,19 Volt, maka penurunan konsentrasi terjadi secara beriringan.

Daya Hantar Listrik (DHL)

Daya hantar listrik dari keempat variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} mengalami penurunan selama 24 jam proses berlangsung (**Gambar 2**). Salah satu penyebab penurunan DHL adalah berkurangnya ion-ion terlarut di dalam elektrolit. Dalam katolit terjadi reaksi reduksi yang mengubah ion Ni^{2+} dan Fe^{2+} terlarut menjadi padatan Ni^0 dan Fe^0 yang terdeposisi ke permukaan katoda. Hal ini menyebabkan berkurangnya ion terlarut sehingga katolit mengalami penurunan DHL.



Gambar 2. Profil daya hantar listrik (DHL) di katolit.



Gambar 3. Profil Arus Listrik variasi rasio Fe²⁺/Ni²⁺ selama 24 jam proses elektrodeposisi.

Arus Listrik

Profil arus listrik empat variasi rasio Fe²⁺/Ni²⁺ selama proses berlangsung mengalami peningkatan pada delapan jam pertama kemudian konstan hingga jam ke-24 (**Gambar 3**). Aliran arus listrik yang konstan ini sangat mendukung reaksi reduksi di katolit dan dapat mengoptimalkan proses elektrodeposisi terhadap logam Ni²⁺ dan Fe²⁺ terlarut.

Massa Logam Tersisihkan

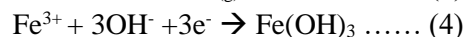
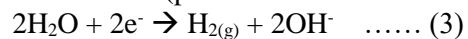
Reaksi yang terjadi pada katolit adalah reaksi reduksi dimana ion nikel dan besi terlarut akan mengalami proses reduksi dan terdepositasi ke permukaan katoda dalam bentuk padatan. Hal ini menyebabkan konsentrasi logam terlarut berkurang, begitu juga dengan massa logam.

Tabel 3 menunjukkan bahwa variasi rasio Fe²⁺/Ni²⁺ 1,29% memiliki massa nikel tersisihkan tertinggi bila dibandingkan dengan variasi yang lain, yaitu 869,687 mg. Masa nikel terendah yang tersisihkan berada pada variasi rasio Fe²⁺/Ni²⁺ 1,73% yaitu 666,155 mg. Hal tersebut berbanding lurus dengan endapan Fe(OH)₃ yang terbentuk antara jam ke-0 hingga jam ke-4 dimana pada saat itu pH pada katolit berada pada rentang pH 2-4.

Berawal dari pembentukan flok dan flok tersebut akan mengikat ion Ni²⁺ yang ada

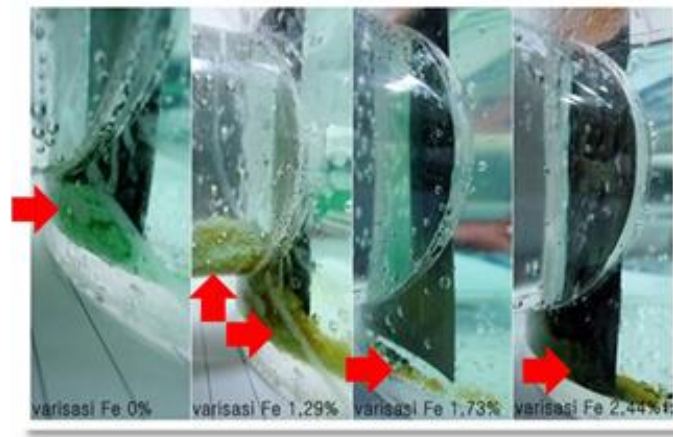
di dalam limbah, sehingga flok akan memiliki kecenderungan mengendap (Vogel, 1990). Pada variasi rasio Fe²⁺/Ni²⁺ 1,29% terbentuk endapan Fe(OH)₃ terbanyak dimana endapan tersebut telah mengikat ion Ni²⁺ terlarut sehingga massa ion nikel yang tersisihkan lebih tinggi dari variasi lain. Bertambahnya variasi konsentrasi Fe tidak menunjukkan peningkatan pada pembentukan endapan Fe(OH)₃ (**Gambar 4**). Hal tersebut disebabkan oleh kejenuhan yang terjadi di dalam katolit. Semakin besar ion besi yang digunakan tidak akan efektif membentuk endapan karena konsentrasi larutan sudah jenuh, sehingga penggumpalan semakin susah terjadi.

Flok Fe(OH)₃ terbentuk dari reaksi ion Fe³⁺ dan ion OH⁻ dimana keduanya merupakan ion bebas di dalam katolit. Ion OH⁻ merupakan salah satu hasil dari reaksi reduksi terhadap senyawa H₂O. Ion Fe³⁺ bergerak mendekati katoda, namun terhalang dengan proses reduksi nikel dan keberadaan gelembung H₂ dari hasil reduksi ion H⁺ yang terdifusi dari anolit (Jing, 2010). Disaat yang sama, ion Fe³⁺ bertumbukan dengan OH⁻ membentuk flok (persamaan reaksi 3 dan 4).



Tabel 3. Massa Nikel Tersisihkan

Variasi Besi	Konsentrasi nikel (mg/L)			Volume (L)	Massa nikel tersisihkan(mg)
	Awal	Akhir	Selisih		
0%	2094,248	627,625	1466,623	0,5	733,312
1,29%	2094,248	354,875	1739,373	0,5	869,687
1,73%	2094,248	761,938	1332,310	0,5	666,155
2,44%	2094,248	516,125	1578,123	0,5	789,062



Gambar 4. Endapan $Fe(OH)_3$ yang terbentuk pada setiap variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+}

Tabel 4. Massa Ion Besi Tersisihkan

Variasi Besi	Konsentrasi besi (mg/L)			Volume (L)	Massa besi tersisihkan (mg)
	Awal	Akhir	Selisih		
1,29%	25,165	13,05	12,1147	0,5	6,057
1,73%	36,009	19,213	16,796	0,5	8,398
2,44%	49,904	19,951	29,953	0,5	14,977

Massa ion besi yang tersisihkan terus meningkat seiring dengan peningkatan variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} . Hal ini sangat wajar terjadi karena ion Fe^{2+} yang dimasukkan pada saat awal percobaan meningkat jumlahnya.

Efisiensi Arus dan Energi Spesifik

Efisiensi arus merupakan rasio perbandingan antara massa ion nikel tersisihkan riil terhadap massa ion nikel tersisihkan teoritis. Semakin tinggi nilai persentase rasio efisiensi arus, maka proses penyisihan logam di dalam limbah hemat energi karena membutuhkan energi yang sedikit. **Tabel 5** menunjukkan efisiensi arus dan massa padatan yang terdeposisi ke permukaan katoda. **Tabel 5** menunjukkan bahwa efisiensi arus tertinggi berada pada

variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,73% yaitu 30,154%. Sedangkan efisiensi terendah berada pada variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,29% yaitu 21,962%. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi arus berbanding lurus dengan massa logam tersisihkan. Semakin banyak massa logam yang tersisihkan, maka rasio efisiensi arus akan meningkat.

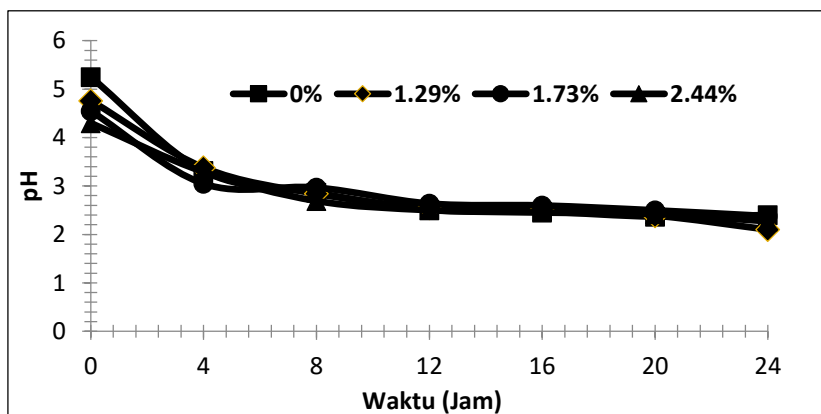
Energi spesifik merupakan besaran energi dalam satuan kWh yang digunakan untuk menyisihkan ion nikel dalam kilogram (**Tabel 6**). Dapat disimpulkan bahwa keberadaan ion logam besi di dalam limbah nikel membutuhkan energi spesifik yang sangat besar untuk dapat menyisihkan nikel. Kebutuhan energi spesifik yang besar tentu saja membutuhkan biaya yang mahal.

Tabel 5. Efisiensi Arus Nikel

Variasi Besi	E	I (A)	t (detik)	Massa ion nikel tersisihkan (gram)	Massa ion nikel tersisihkan teoritik (gram)	Efisiensi arus (%)
0%	29,5	0,098	86400	0,733	2,589	28,326
1,29%	29,5	0,150	86400	0,870	3,960	21,962
1,73%	29,5	0,084	86400	0,666	2,209	30,154
2,44%	29,5	0,131	86400	0,789	3,456	22,831

Tabel 6. Energi Spesifik Nikel

Variasi Besi	V (Volt)	I (A)	t (detik)	W (J)	W (kWh)	Massa ion nikel tersisihkan (kg)	Es (kWh/kg Ni)
0%	5	0,098	86400	42342	0,0118	0,0007333	16,039
1,29%	5	0,150	86400	64769	0,0180	0,0008697	20,687
1,73%	5	0,084	86400	36133	0,0100	0,0006662	15,067
2,44%	5	0,131	86400	56527	0,0157	0,0007891	19,900

**Gambar 6.** Grafik pH Katolit

pH

Katolit memiliki pH yang cenderung menurun. Hal itu disebabkan oleh terjadinya migrasi ion H^+ yang bersifat asam dari anolit ke katolit. Jumlah ion H^+ yang bermigrasi dari anolit ke katolit melebihi jumlah ion OH^- yang diproduksi dalam katolit, sehingga menyebabkan pH katolit menurun (**Gambar 6**).

KESIMPULAN

Dari hasil analisis penelitian diatas, disimpulkan bahwa keberadaan logam besi di dalam limbah nikel memberikan dampak terhadap efisiensi penyisihan nikel dan energi spesifik. Pada efisiensi penyisihan nikel, keberadaan besi dalam konsentrasi yang berbeda-beda di setiap variasi kehadirannya. Pada variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,29%; efisiensi penyisihan logam nikel meningkat hingga 83,1% dengan massa tersisihkan sebanyak 689,687 mg. Namun pada variasi berikutnya, efisiensi penyisihan logam nikel menurun hingga 63,6% pada variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,73% dan 75,4% pada variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 2,44%. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya flok $Fe(OH)_3$ pada variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,29% yang berpotensi mengikat ion Ni^{2+} sehingga efisiensi penyisihan nikel pada variasi tersebut meningkat dari variasi rasio

Fe^{2+}/Ni^{2+} 0%. Flok tidak terlalu banyak terbentuk pada variasi rasio Fe^{2+}/Ni^{2+} 1,73% dan 2,44% sehingga efisiensi penyisihan ion nikel menurun. Tidak terbentuknya flok disebabkan oleh konsentrasi larutan yang sudah jenuh. Namun pada energi spesifik, keberadaan ion besi di dalam limbah elektroplating nikel membutuhkan energi yang banyak untuk dapat menyisihkan ion logam nikel. Banyaknya energi yang dibutuhkan dalam proses penyisihan nikel membutuhkan modal biaya yang tinggi pula. Efisien dari segi penyisihan namun tidak dari segi biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akuan, A. (2009). *Dasar-dasar Elektroplating*. Bandung: UNJANI.
- ATSDR. (1989). Toxicology profile for nickel. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Public Health Service, Atlanta, G.A.* 12, pp. ATSDR/TP-89-25.
- AWWA. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater analysis. *Washington DC*, 20th Edition.
- Bard, Allen J. & Faulkner, L.R. (1980). Electro-chemical methods. *John Wiley & Sons*.

- Cempel M. & Nikel G., (2006). Nickel: A Review of its sources and environmental toxicology. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15, 375–382.
- Coman, V., Robotin, B. & Ilea, P. (2013). Nickel recovery/removal from industrial wastes: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 229 - 238.
- Dermentzis, K. (2010). Removal of nickel from electroplating rinse waters using electrostatic shielding electro dialysis/electrodeionization. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1), 647-652.
- Doan, H.D. & Saidi, M. (2008). Simultaneous removal of metal ions and linear alkylbenzene sulfonate by a combined electrochemical and photocatalytic process. *Journal of Hazardous Materials*, 158, 557–567.
- Doan, H.D., Weli, A. & Wu, J. (2009). A combined photocatalytic and electrochemical treatment of wastewater containing propylene glycol methyl ether and metal ions. *Chemical Engineering Journal*, 151(1-3), 51-58.
- Fengliang Fu, & Qi Wang. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 92, 407 – 418.
- Hernandez-Tapia, J.R., Vazquez-Arenas, J. & Gonzalez, I. (2013). A kinetic model to describe the nickel electro-recovery from industrial plating effluents under variable electrolyte conductivity. *Electrochimica Acta*, 103, 266 - 274.
- Hernandez-Tapia, J.R., Vazquez-Arenas, J. & Gonzalez, I. (2013). Electrochemical reactor with rotating cylinder electrode for optimum electrochemical recovery of nickel from plating rinsing effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 709 - 716.
- ILO. (1983). *Encyclopaedia of occupational health and safety*, vol. 2. Third ed. Geneva, 13 –35.
- Jing, LU, Hua, Y.Q. & Zhao, Z. (2010). Effects of additives on nickel electrowinning from sulfate system. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, 97- 101.
- Kuck, P.H. (2008). Mineral Yearbook 2006: Nickel. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/myb1-2006-nickle.pdf> [Accessed April 8, 2010].
- Lian, R.X., Feng, W.Q., Zhe Liu, & Jun Liu. (2012). Electrodeposition conditions of metallic nickel in electrolytic membrane reactor. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 467- 475.
- Marafi M. & Stanislaus A., (2008a): Spent catalyst waste management: A review. Part I. Developments in hydroprocessing catalyst waste reduction and use. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(8), 59–73.
- Marafi M., & Stanislaus A., (2008b). Spent hydroprocessing catalyst management: A Review. Part II. Advances in metal Recovery and Safe Disposal Methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 1–26.
- Orináková, R., Strecková, M., Trnková, L., Rozik, R. & Galová, M. (2006). Comparison of chloride and sulphate electrolytes in nickel electrodeposition on a paraffin impregnated graphite electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 594(2), 152-159.
- Oztekin, Y., & Yazicigil, Z. (2006). Recovery of metals from complexed solutions by electrodeposition. *Desalination*, 190(1-3), 79-88.
- Pramujo W., & Isdiriyani N. (2011). Pengaruh krom pada elektrodeposisi nikel dari larutan nikel-krom. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 10(2), 54-60.
- Purwanto, & Huda, S. (2005). *Teknologi Industri Elektroplating*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Reck B.K., Müller D.B., Rostkowski K. & Graedel T.E., (2008). Anthropogenic nickel cycle: Insights into use, trade and recycling. *Environmental Science and Technology*, 42(3): 394–400.
- Riyanto, P. D. (2013). *Elektroplating dan aplikasinya*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Robotin, B., Ispas, A., Coman, V., Bund, A. & Ilea, P. (2013). Nickel recovery from electronic waste II electrodeposition of Ni and Ni-Fe

- alloys from diluted sulfate solutions. *Waste Management*, 33, 2381 - 2389.
- Supicová, M, Rozik, R, Trnková, L, Orináková, R. & Gálová, M. (2006). Influence of boric acid on the electrochemical deposition of Ni. *Journal of Solid State Electrochem*, 10, 61–68.
- Underwood, A.L. & Day Jr. R.A. (1981). Quantitative Analysis. 4th, *Prentice-Hall of India*, New Delhi.
- Vogel, H. (1990). *Buku teks analisis anorganik kualitatif makro dan semimikro*. Jakarta: PT. Kalma Media Pusaka.
- Yang, Q.Z., Ng, R.S., Qi, G.J., & Low, H.C. (2009). Economic and environmental impact evaluation of nickle recovery process. *SIMTech Technical Reports*, 10(4), 244 – 249.
- Yang, Q.Z., Qi, G.J., Low, H.C. & Song, B. (2011). Sustainable recovery of nickle from spent hydrogenation catalyst: Economics, emissions, and wastes assessment. *Journal of Cleaner Production*, 19, 365 – 375.
- Zanaty R. K., Wael H. A., & Nabawia M.I. (2013). Biosorption of Cu^{2+} by *Eichhornia crassipes*: Physicochemical characterization, biosorption modeling and mechanism, *Journal of King Saud University–Science*, 25, 47-56.