

PENGARUH JENIS ANODA PADA PROSES PEMULIHAN LOGAM NIKEL DARI TIRUAN AIR LIMBAH ELECTROPLATING MENGGUNAKAN SEL ELEKTRODEPOSISI

Djaenudin ^{*)}, Mindriany Syafila, Edwan Kardena, dan Isdiriyani Nurdin

Program Studi Doktor Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

^{*)}Penulis korespondensi: aburizki@yahoo.com

Abstract

EFFECT OF ANODES TYPES ON NICKEL RECOVERY FROM SYNTHETIC ELECTROPLATING WASTE ELECTRODEPOSITION CELLS. *A study concerning the recovery of nickel from electroplating wastewater artificial solution. The study was conducted with a batch system using electroplating cell consisting of two spaces separated by water hyacinth leaf, copper cathode plate, H₂SO₄ solution anolyte, catholyte solution of NiSO₄ plus NaCl supporting electrolyte and anode varied. Electrodeposition performed at the direct current of 5V power for 4 hours each run. The research objective was to obtain the best anode in nickel electrodeposition process of electroplating waste artificial solution. Graphite, stainless steel type AISI 316 and the lead were used as a variation of the anode. Concentration of nickel in the catholyte at baseline 2200 mg/L. The results showed that the anode was a graphite anode with best value decreased by 72.44% nickel concentration, deposition of nickel on the cathode of 0.188 grams and specific energy values of 6.1625 kWh/kg.nickel.*

Keywords: *anode; electrodeposition; graphite; lead; nickel recovery; stainless steel type AISI 316*

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pemulihan logam nikel dari larutan tiruan air limbah electroplating. Penelitian dilakukan dengan sistem batch menggunakan sel elektrodeposisi yang terdiri dari dua ruang yang dipisahkan dengan daun eceng gondok, katoda pelat tembaga, anolit larutan H₂SO₄, katolit larutan NiSO₄ ditambah elektrolit pendukung larutan NaCl dan anoda divariasikan. Elektrodeposisi dilakukan pada listrik searah sebesar 5V selama 4 jam setiap tempuhan. Tujuan penelitian adalah memperoleh anoda terbaik pada proses elektrodeposisi nikel dari larutan tiruan limbah electroplating. Grafit, Stainless Steel tipe AISI 316 dan timbal digunakan sebagai variasi jenis anoda. Konsentrasi nikel dalam katolit pada awal penelitian 2200 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa anoda grafit merupakan anoda yang paling baik dengan nilai penurunan konsentrasi nikel sebesar 72,44%, deposisi nikel di katoda sebesar 0,188 gram dan nilai energi spesifik sebesar 6,1625 kWh/kg.nikel.

Kata kunci: *anoda; elektrodeposisi; grafit; timbal; pemulihan nikel; stainless steel tipe AISI 316*

PENDAHULUAN

Nikel merupakan logam berat yang banyak digunakan dalam industri. Lebih dari 3000 paduan nikel digunakan pada berbagai industri (ILO., 1983; Mastromatto, 1994). Nikel dalam jumlah kecil dibutuhkan oleh tubuh, tetapi bila terdapat dalam jumlah yang terlalu banyak dapat membahayakan kesehatan manusia, karena dapat menyebabkan kanker paru-paru, kanker hidung, kanker pangkal

tenggorokan, kanker prostat, kehilangan keseimbangan, kegagalan respirasi, kelahiran cacat, penyakit asma dan bronkitis kronis serta merusak hati dan fungsi ginjal (ATSDR, 1989). Berdasarkan Baku Mutu Limbah Cair untuk Kegiatan Industri (KepMen LH 51/1995), kandungan nikel dalam limbah cair tidak boleh melampaui 1 mg/L untuk industri pelapisan logam.

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian elektrodposisi logam nikel menggunakan berbagai jenis anoda dan tipe sel seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 di atas, jenis-jenis anoda yang pernah digunakan adalah, platina, titanium, stainless steel, timbal dan grafit. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja anoda timbal, *Stainless steel* tipe AISI 316 (SS 316) dan grafit terhadap kinerja elektrodposisi, sehingga dapat diperoleh anoda terbaik. Ketiga anoda ini digunakan karena harganya murah dan mudah diperoleh dibandingkan dengan platina dan titanium.

Penelitian ini menggunakan daun eceng gondok sebagai pengganti membran penyekat antara ruang anoda dan katoda. Pemilihan daun eceng

gondok sebagai biomembran disebabkan karena eceng gondok mengandung serat/selulosa (Joedodibroto, 1983). Eceng gondok mengandung senyawa kimia selulosa asetat yang biasa digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan membran sintesis, sekitar 64,51%. Selain itu daun eceng gondok tebal sehingga tidak mudah sobek dan *permeabel* sehingga ion-ion dapat ditukarkan melalui pori-pori di permukaan daun.

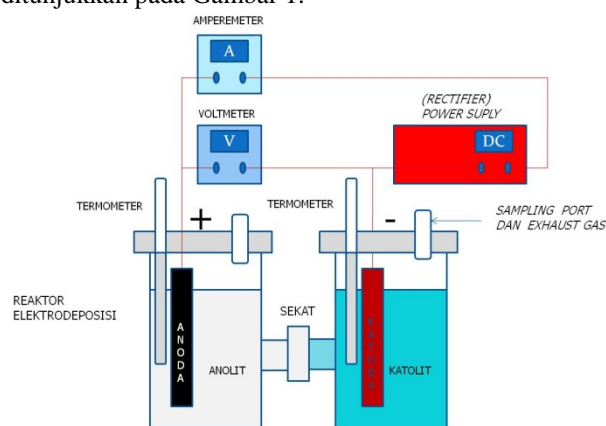
Maksud dari penelitian ini adalah menurunkan konsentrasi nikel dari larutan tiruan air limbah *electroplating* sedangkan tujuannya adalah memperoleh anoda terbaik pada proses elektrodposisi nikel dari larutan tiruan limbah *electroplating*.

Tabel 1. Hasil Penelitian Terdahulu

Penulis	Tipe sel	Anoda	Elektrolit	Tegangan Listrik (Volt)	Efisiensi Penurunan Konsentrasi Nikel (%)	Energi spesifik (kWh/kg nikel)
Lian dkk, 2012	Dua ruang	Ti diselimuti RuO ₂	40 g/L NiSO ₄ , 40 g/L H ₃ BO ₃	4	94,17	5
Pramujo dkk, 2011	Satu ruang	Titanium	60 g/L Na ₂ SO ₄ , 6 g/L MgSO ₄ , H ₃ BO ₃ 12g/L - 36 g/L, Cr ₂ (SO ₄) ₃ , Cr/Ni 0,46%, 0,93%, 1,85%	2		3 – 11,3
Dermentzis, 2010	Dua ruang	Grafit powder	210,4 mg/L NiSO ₄ , 83 mg/L NiCl ₂ (100 mg/L Ni) and 59,3 mg/L H ₃ BO ₃		26	
Oztekin dan Yazicigil, 2006	Dua ruang	Pt	NiSO ₄ , CdSO ₄ , CuSO ₄ , asam sitrat, NTA, EDTA		40	
Jing dkk, 2010	Satu ruang	Pb	10 g/L H ₃ BO ₃ , 40 mg/L SDS, of 80 g/L Ni ²⁺ , 10 g/L Na ⁺	0,7		
Isdiriayani dkk, 2010	Satu ruang	Ti	60 g/L Na ₂ SO ₄ , 6 g/L MgSO ₄ , 36 g/L H ₃ BO ₃ , 12,5 g/L NiSO ₄ , 1,25 g/L Cr ₂ (SO ₄) ₄	2,6 – 2,8	1,12	5
Doan, 2008; Doan dkk, 2009	Satu ruang	Stainless steel	20 mg/L Ni ²⁺ , 20 mg/L Zn ²⁺ , 250 mg/L Na ₂ SO ₄ , 100 mg/L LAS, 500 mg/L K ₂ SO ₄		56	
Giannopoulou, 2007	Satu ruang	Pt	Ion-ion Cu, Ni, Fe, Pb, Zn, As, Sb, Bi. H ₂ SO ₄ , Cl ⁻	1,4 - 3	90	
Mohanty dkk, 2004	Satu ruang	Pt	NiSO ₄ , CdSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , H ₃ BO ₃	0,88 – 1,004		
Fornari, 1999	Satu ruang	Pt	NiSO ₄ , CuSO ₄ , NH ₄ OH	2,2 – 2,7	99,6	3,05
Orhan dkk, 2002	Satu ruang	Ti	NiSO ₄ , H ₃ BO ₃	4,3	90	4,2

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan reaktor membran elektrodeposisi sistem *batch*. Dalam reaktor ini terjadi proses oksidasi di ruang anoda dan reduksi di ruang katoda. Ruang anoda diisi dengan larutan asam yang berfungsi sebagai elektrokatalisator sedangkan ruang katoda diisi dengan larutan garam NiSO₄ dan elektrolit *support* NaCl sebagai tiruan air limbah elektroplating. Proses penurunan konsentrasi nikel terjadi dalam ruang katoda sebagai akibat proses reduksi Ni²⁺ menjadi Ni. Rangkaian alat percobaan terdiri dari sel elektrodeposisi dua ruang dengan daun eceng gondok sebagai diafragma (sekat), dilengkapi dengan pelat tembaga ukuran 4 cm x 6 cm x 0,4 mm sebagai katoda. Pelat timbal, *stainless steel* tipe AISI 316 (SS 316) ataupun grafit ukuran 4 cm x 6 cm x 4 mm sebagai anoda, sumber arus searah, voltmeter, amperemeter dan termometer sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan peralatan percobaan

Sel elektrodeposisi terdiri dari dua kompartemen berbentuk silinder masing-masing berdiameter 10 cm, tinggi 10 cm dan diisi larutan sebanyak 500 mL, dihubungkan dengan suatu jembatan yang disekat dengan daun eceng gondok berdiameter 5 cm. Kompartemen yang satu disebut ruang anoda digunakan untuk tempat anoda dan anolit (larutan H₂SO₄ 1M), sedangkan kompartemen lainnya disebut ruang katoda digunakan untuk tempat katoda dan katolit (larutan NiSO₄ 2200 mg Ni/L ditambah elektrolit pendukung larutan NaCl 1M). Jarak antara anoda dan katoda 6 cm.

Termometer dipasang pada masing-masing kompartemen di bagian atasnya. *Sampling port* dibuat pada bagian atas kompartemen yang berfungsi untuk tempat sampling pengambilan *sample* dan pembuangan gas yang dihasilkan. Sumber arus bolak-balik dihubungkan dengan *rectifier* untuk diubah menjadi arus searah yang dihubungkan dengan anoda dan katoda sel elektrodeposisi.

Percobaan elektrodeposisi dilakukan pada temperatur kamar, dengan tegangan listrik sebesar 5V. Perubahan temperatur pada ruang anoda maupun katoda diamati selama percobaan yang berdurasi 4 jam

setiap tempuhan. Perubahan pH dan konduktivitas larutan juga diamati sepanjang proses elektrodeposisi.

Deposit nikel di katoda, penurunan konsentrasi nikel dalam katolit dan energi spesifik merupakan parameter utama untuk mengevaluasi proses yang paling optimal. Massa nikel yang terdepositasi di katoda merupakan selisih massa katoda setelah percobaan dengan awal percobaan. Konsentrasi nikel pada larutan katolit diukur menggunakan AAS. Energi spesifik merupakan jumlah energi listrik yang dibutuhkan untuk mendeposisikan nikel di katoda. Energi spesifik dihitung dengan cara membagi jumlah energi listrik yang digunakan terhadap massa nikel yang disisihkan dari larutan.

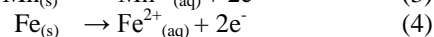
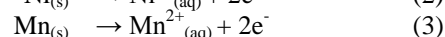
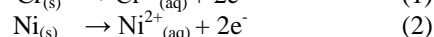
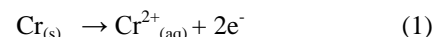
HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi terhadap hasil penelitian ditujukan pada parameter konsentrasi Nikel pada akhir percobaan, penurunan konsentrasi nikel, deposisi nikel di katoda dan konsumsi energi. Adapun hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Penurunan konsentrasi Ni²⁺ dalam katolit menggunakan berbagai jenis anoda

Jenis anoda	[Ni ²⁺] akhir (mg/L)	Penurunan [Ni ²⁺] (%)
Grafit	606,43	72,44
<i>Stainless steel</i> tipe AISI 316	420,74	80,88
Timbal	615,89	72,01

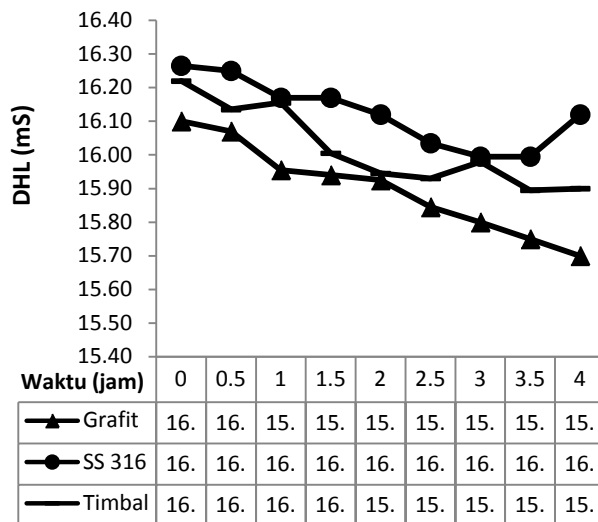
Penurunan konsentrasi Ni²⁺ pada katolit selama 4 jam percobaan berkisar antara 72,016 hingga 80,88% untuk semua variasi jenis anoda. *Stainless steel* tipe AISI 316 merupakan anoda yang dapat membantu proses penyisihan nikel paling tinggi dengan efisiensi hingga 80,88%. *Stainless steel* tipe AISI 316 adalah logam campuran Mn 2%, Cr 18%, Ni 14%, Mo 3%, C 0,08%, Fe 62% (www.aksteel.com). Bahan *non-inert* jika digunakan sebagai anoda, seperti *stainless steel* tipe AISI 316, akan ikut teroksidasi ketika arus mengalir. Proses oksidasi tersebut akan menyebabkan logam-logam yang ada pada *stainless steel* tipe AISI 316 berubah menjadi ion terlarut di larutan anolit H₂SO₄. Reaksi yang terjadi adalah



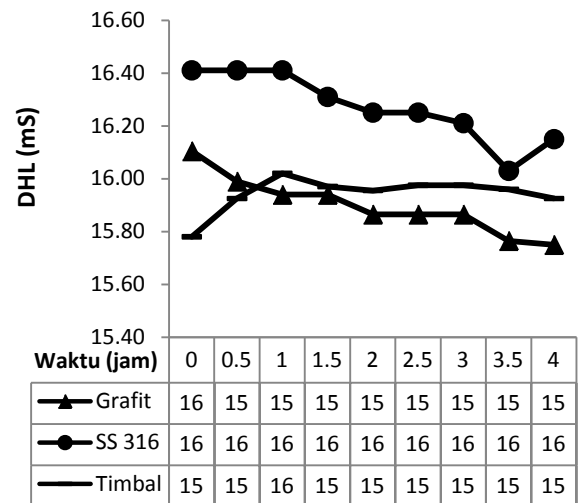
Kehadiran ion-ion Cr²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, dan Fe²⁺ di larutan anolit akan membuat DHL (daya hantar listrik) meningkat sehingga arus yang mengalir menuju katolit untuk proses elektrodeposisi nikel akan semakin baik pula. Sedangkan, jika dibandingkan dengan timbal yang memiliki karakteristik sama sebagai anoda *non-inert*, timbal memiliki efisiensi penyisihan yang lebih rendah dibandingkan *stainless steel* tipe AISI 316, bahkan lebih rendah pula dibandingkan anoda grafit. Jika dibandingkan dengan

stainless steel tipe AISI 316 yang menghasilkan Cr^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , dan Fe^{2+} , ternyata ion-ion tersebut memiliki potensial redoks yang lebih negatif dibandingkan ion timbal (Pb^{2+}). Ion-ion yang memiliki potensial redoks yang lebih negatif akan semakin mudah teroksidasi di dalam anolit sehingga kehadiran ion-ion tersebut dalam larutan anolit sebagai hasil oksidasi *stainless steel* tipe AISI 316 akan semakin besar kemungkinannya dibandingkan kehadiran ion timbal. Hal ini akan berpengaruh pula pada DHL dari katodit dan anolit. Ini terbukti dengan lebih rendahnya DHL di katodit dan anolit saat menggunakan anoda timbal dibandingkan dengan anoda SS 316 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. DHL yang rendah akan semakin sulit untuk mengalirkan listrik menuju katodit sehingga proses elektrodeposisi menjadi kurang optimal.

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, *stainless steel* tipe AISI 316 merupakan anoda dengan efisiensi penyisihan Nikel yang paling tinggi, walaupun secara statistik penurunan konsentrasi Ni^{2+} pada katodit tidak memiliki perbedaan yang berarti antara reaktor yang menggunakan anoda grafit, *stainless steel* tipe AISI 316 dan timbal.



(a) Katodit



(b) Anolit

Gambar 2. Perubahan DHL (a) Katodit dan (b) Anolit terhadap waktu

Hal ini dibuktikan menggunakan software SPSS 20 metode ANOVA satu arah dimana F-hitung bernilai $0,473 < 9,552$ (F-tabel) dan signifikansi $0,663 > 0,05$.

Gambar 2 (a) menunjukkan terjadinya penurunan nilai DHL, hal ini terjadi karena sebagian ion Ni^{2+} pada katodit sudah terdepositasi pada katoda.

Jika dilihat dari deposit yang terbentuk di katoda, *stainless steel* tipe AISI 316 merupakan anoda yang kurang optimal. Anoda grafit merupakan jenis anoda yang dapat membantu proses elektrodeposisi berjalan optimal dengan terbentuknya banyak deposit Ni^0 di katoda. Deposit nikel pada katoda yang terjadi dari setiap jenis anoda dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 3.



(a) Grafit

(b) *Stainless steel* tipe AISI 316

(c) Timbal

Gambar 3. Deposit nikel pada katoda

Tabel 3. Berat deposit nikel pada katoda untuk berbagai jenis anoda

Anoda	Deposit nikel di katoda (gram)
Grafit	0,188
Stainless steel tipe AISI 316	0,06
Timbal	0,038

Tabel 3 menunjukkan bahwa deposit nikel yang terbentuk pada katoda yang menggunakan anoda grafit lebih banyak dibandingkan saat menggunakan anoda lainnya dengan berat deposit mencapai 0,188 gram. Hal berbeda ditunjukkan ketika menggunakan stainless steel tipe AISI 316 dimana deposit nikel yang terbentuk di katoda sangat sedikit. Jika dikaitkan antara efisiensi penyisihan nikel pada tabel 2 dan deposit nikel yang terbentuk di katoda, stainless steel tipe AISI 316 memang memiliki efisiensi penyisihan paling tinggi, walaupun sebagian besar nikel tersisihkan bukan sebagai deposit Ni⁰ di katoda namun terendapkan sebagai Ni(OH)₂ dalam larutan katolit. Hal yang sama terjadi ketika menggunakan anoda timbal dimana nikel tersisihkan banyak dalam bentuk Ni(OH)₂.

Penggunaan stainless steel tipe AISI 316 dan timbal banyak menyisihkan nikel yang terlarut (Ni²⁺) menjadi nikel yang terendapkan (Ni(OH)₂). Nikel tersebut masih bermuatan dua meskipun dalam senyawa yang berbeda. Dilihat dari segi keamanan proses, nikel bermuatan dua (Ni²⁺) masih mungkin

memapari manusia karena masih ada di dalam limbah. Selain itu, adanya ion-ion, seperti Cr²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, dan Fe²⁺ sebagai hasil oksidasi stainless steel tipe AISI 316 serta ion Pb²⁺ sebagai hasil oksidasi anoda timbal pada larutan anolit berarti menambah limbah baru berupa logam berat, yang memerlukan pengolahan lebih lanjut untuk menyisihkan ion-ion tersebut.

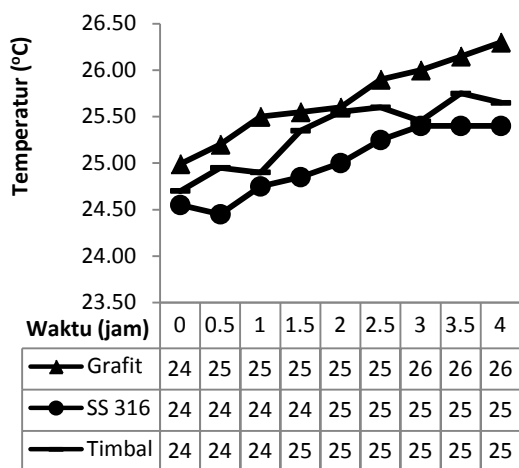
Energi spesifik (E_s) yang dibutuhkan pada berbagai jenis anoda dapat dilihat pada Tabel 4.

Energi spesifik adalah besarnya energi listrik yang dibutuhkan untuk menyisihkan nikel dari larutan seberat satu kg. Besarnya nilai energi spesifik berpengaruh pada biaya pengolahan. Tabel 5 menunjukkan bahwa besarnya energi spesifik yang dibutuhkan ketika menggunakan anoda grafit adalah 6,1625 kwh/kg.nikel. Anoda stainless steel tipe AISI 316 menggunakan energi spesifik 4,39326 kwh/kg.nikel, sedangkan anoda timbal menggunakan energi spesifik 4,18987 kwh/kg.nikel. Nilai-nilai energi spesifik di atas tidak menunjukkan perbedaan yang cukup berarti berdasarkan analisa statistik karena memiliki angka signifikansi di atas 0,05, hal ini terjadi karena jumlah nikel yang tersisihkan dari larutan pada ketiga variasi jenis anoda hampir sama, juga kuat arus listrik yang terjadi tidak begitu jauh berbedanya.

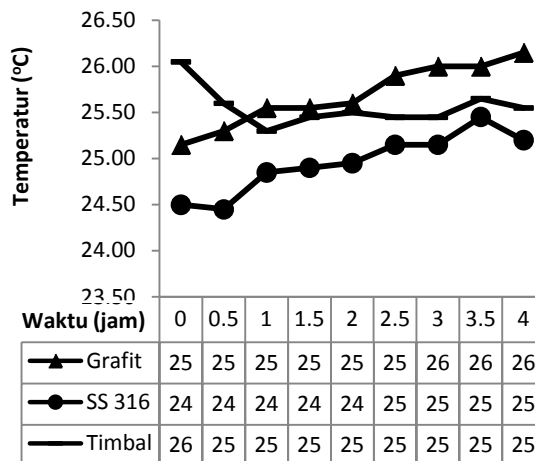
Grafik dari perubahan temperatur, pH dan kuat arus listrik pada berbagai jenis anoda ini dapat dilihat pada Gambar 4 sampai Gambar 6.

Tabel 4. Energi Spesifik

Anoda	V (volt)	Q=f Idt (Coulomb)	Jumlah Ni ²⁺ tersisihkan (kg)	W (J)	W (kwh)	E _s (kwh/kg.nikel)
Grafit	5	3552,48	0,0008	17760	0,004933	6,1625
Stainless steel tipe AISI 316	5	2819,952	0,00089	14100	0,003917	4,39326
Timbal	5	2379,888	0,00079	11900	0,003306	4,18987



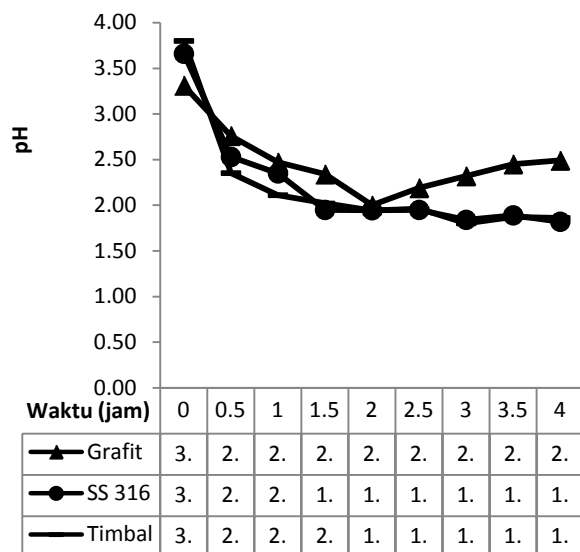
(a) Katolit



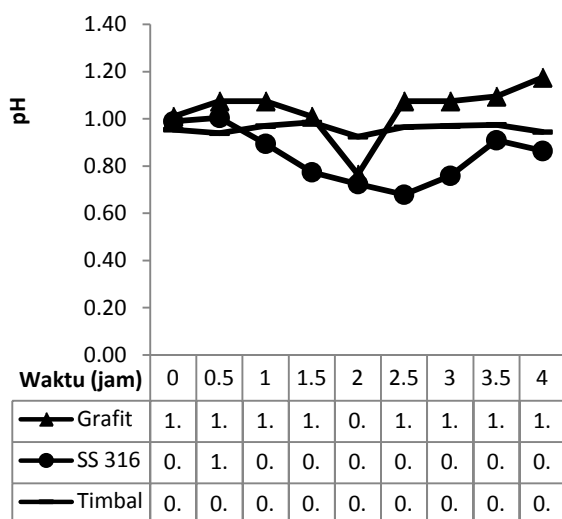
(b) Anolit

Gambar 4. Perubahan Temperatur (a) Katolit dan (b) Anolit terhadap waktu

Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi sedikit peningkatan temperatur baik pada anolit maupun katolit. Hal ini terjadi karena adanya peristiwa *joule heating* akibat arus pusar pada kedua larutan.



(a) Katolit

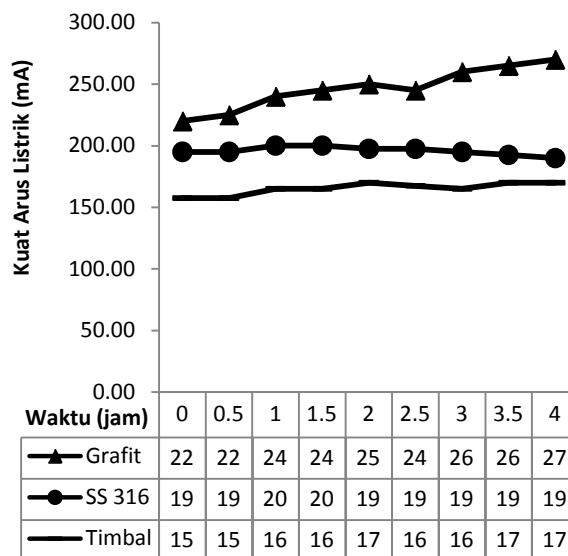


(b) Anolit

Gambar 5. Perubahan pH (a) Katolit dan (b) Anolit terhadap waktu

Gambar 5 (a) menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai pH yang cukup berarti pada larutan katolit. Mekanisme reaksi yang terjadi di katolit selain terbentuknya Ni^0 dari Ni^{2+} juga terjadi reaksi perubahan H_2O menjadi H_2 dan OH^- . Berdasarkan reaksi itu semestinya terjadi peningkatan nilai pH pada katolit. Sedangkan pada kenyataannya hasil percobaan menunjukkan nilai sebaliknya. Hal ini terjadi karena reaksi oksidasi H_2O di anolit yang menghasilkan O_2 dan H^+ . H^+ yang terbentuk di anolit berpindah ke katolit melewati sekat daun eceng gondok sehingga terjadi penurunan nilai pH di katolit. Penurunan nilai pH katolit ini pun menunjukkan bahwa produksi H^+ di anolit jauh lebih banyak dibandingkan OH^- di katolit.

Gambar 5 (b) tidak menunjukkan penurunan nilai pH yang cukup berarti, karena nilai pH awal anolit sudah sangat rendah sehingga pembentukan H^+ pada anolit tidak terlalu terlihat menurunkan nilai pH anolit.



Gambar 6. Perubahan kuat arus listrik terhadap waktu

Gambar 6 menunjukkan bahwa kuat arus listrik rata-rata yang mengalir ketika menggunakan anoda grafit sebagai anoda *inert* lebih tinggi yaitu 0,247 ampere jika dibandingkan dengan anoda *stainless steel* tipe AISI 316 dan timbal yang merupakan anoda *non-inert*.

KESIMPULAN

Anoda grafit merupakan anoda yang paling baik dibandingkan dengan *stainless steel* tipe AISI 316 dan timbal ditinjau dari deposit nikel di katoda, penurunan konsentrasi Ni di dalam katolit, konsumsi energi elektrodeposisi dan keamanan proses.

DAFTAR PUSTAKA

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.

Dermentzis, K. (2010), Removal of Nickel from Electroplating rinse waters using Electrostatic Shielding Electrodialysis/Electrodeionization, *Journal of Hazardous Chemical*, 173, pp. 647-652.

Doan, H.D., Weli, A., and 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), pp. 51-58.

Farid, H.B., Adi, T.A., dan Barizi, A., (2012), *Karakterisasi Sifat Permukaan Eceng Gondok*

(*Eichornia crassipes*), Universitas Islam Negeri (UIN), Malang.

Fornari, P. and Abbruzzese, C., (1999), Copper and Nickel Selective Recovery by Electrowinning from Electronic and Galvanic Industrial Solutions, *Hydrometallurgy*, 52(3), pp. 209-222.

Giannopoulou, I. and Panias, D., (2007), Copper and Nickel from Acidic Polymetallic Aqueous Solutions, *Minerals Engineering*, xxx, xxx-xxx.

ILO, (1983), *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*, vol. 2. Third ed. Geneva, pp. 13-35.

Isdiriayani, N., Pramudjo, W., and Yanti, S., (2010), Nickel Recovery from Nickel and Chromium Containing Wastewater by Electrodeposition Method, *International Conference on Environment 2010 (ICENV 2010)*.

Jing, LU., Hua, Y.Q., and Zhao, Z., (2010), Effects of Additives on Nickel Electrowinning from Sulfate System, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, pp. 97- 101.

Joedodibroto, R., (1983), Prospek Pemanfaatan Eceng Gondok dalam Industri Pulp dan Kertas, *Berita Selulosa*. Edisi Maret 1983, Vol. XIX No. 1, Balai Besar Selulosa, Bandung.

Lian, R.X., Feng, W.Q., Zhe LIU, and Jun LIU, (2012), Electrodeposition Conditions of Metallic

Nickel in Electrolytic Membrane Reactor, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, pp. 467- 475.

Mastromattco, E., (1994), Nickel and Its Compounds, dalam Zens., C. dkk (editors), *Occupational medicine*, Third ed. Mosby, New York, pp. 558-569.

Maulana, A., (2009), *Permeabilitas Membran Sel*, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Mohanty, U.S., Tripathy, B.C., Singh, P., and Das, S.C., (2004), Effect of Cd²⁺ on the Electrodeposition of Nickel from Sulfate Solutions, Part II: Polarisation Behaviour, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 566(1), pp. 47-52.

Mohanty, U.S., Tripathy, B.C., Singh, P., and Das, S.C., (2009), Effect of Sodium Lauryl Sulphate (SLS) on Nickel Electrowinning from Acidic Sulphate Solutions, *Hydrometallurgy*, 100, pp. 60-64.

Orhan, G., Arslan, C., Bombach, H., and Stelter., M., (2002), Nickel Recovery from the Rinse Waters of Plating Baths, *Hydrometallurgy*, 65(1), pp. 1-8.

Oztekin, Y. dan Yazicigil, Z., (2006), Recovery of Metals from Complexed Solutions by Electrodeposition, *Desalination*, 190(1-3), pp. 79-88.

www.aksteel.com (diunduh pada tanggal 1 Oktober 2013)