



## Pengaruh Komposisi Elektrolit pada Proses Penyisihan Nikel dari Tiruan Air Limbah Elektroplating Menggunakan Sel Elektrodeposisi Dua Ruang

Selly Ayu Janetasari<sup>a,\*</sup>; Djaenudin<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Loka Penelitian Teknologi Bersih, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Cisitua Sangkuriang Bandung 40135, Indonesia

\* Corresponding author: [cellyayu@gmail.com](mailto:cellyayu@gmail.com)

<https://doi.org/10.14710/jksa.22.4.143-149>

### Article Info

#### Article history:

Received: 6 May 2019

Revised: 15 July 2019

Accepted: 20 July 2019

Online: 31 July 2019

#### Keywords:

nickel removal; double chamber electrodeposition cell; anolyte  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{pH}_{\text{initial}}$  catholyte; supporting electrolyte  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

### Abstract

**Title: Effect of Electrolyte Composition on Nickel Removal Process from Artificial Electroplating Wastewater Using Two-Room Electrodeposition Cells**

Research of removal of soluble nickel from artificial electroplating wastewater has been investigated. The research aim to know optimum electrolyte composition in nickel electrodeposition process. This study was conducted within a batch system using double chamber electrodeposition cell separated by water hyacinth leaf. Electrodeposition cell was equipped with a copper plate as cathode, graphite plate as anode,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  anolyte,  $\text{NiSO}_4$  catholyte with  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  added as supporting electrolyte. Electrodeposition performed at 5V direct current voltage for 4 hours each running and varied the concentration of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  anolyte (0,2 M; 0,6 M and 1 M),  $\text{pH}_{\text{initial}}$  catholyte (2; 4 and 6) and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (catholyte) supporting electrolyte (0 M; 0,2 M; 0,6 M and 1 M). The statistic analysis results showed that the concentration of 0.2 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{pH}_{\text{initial}}$  catholyte of 6 and 0.2 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  with an optimum concentration of nickel concentration values decrease of 18,433 % and nickel deposition on the cathode of 0.042 grams.

### Abstrak

#### Kata Kunci:

penyisihan nikel; sel elektrodeposisi dua ruang; anolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{pH}_{\text{awal}}$  katolit; elektrolit pendukung  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Telah dilakukan penelitian untuk menurunkan konsentrasi nikel dari tiruan air limbah elektroplating. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi elektrolit optimum pada proses elektrodeposisi nikel. Penelitian dilakukan dengan sistem *batch* menggunakan sel elektrodeposisi dua ruang yang dipisahkan dengan daun eceng gondok. Sel elektrodeposisi dilengkapi dengan katoda pelat tembaga, anoda pelat grafit, anolit larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , katolit larutan  $\text{NiSO}_4$  ditambah elektrolit pendukung larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Elektrodeposisi dilakukan pada tegangan listrik searah sebesar 5V selama 1 jam setiap tempuhan dan dilakukan variasi konsentrasi anolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,2 M; 0,6 M dan 1 M),  $\text{pH}_{\text{awal}}$  katolit (2; 4 dan 6) dan konsentrasi elektrolit pendukung  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0 M; 0,2 M; 0,6 M dan 1M) dalam katolit. Hasil analisis statistika menunjukkan bahwa konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,2 M,  $\text{pH}_{\text{awal}}$  katolit 6 dan tanpa elektrolit pendukung  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,2 M merupakan konsentrasi optimum dengan nilai penurunan konsentrasi nikel sebesar 18,433% dan deposit nikel pada katodasebesar 0,042 gram.

### 1. Pendahuluan

Logam nikel banyak digunakan dalam proses elektroplating atau pelapisan logam karena memiliki sifat daya hantar listrik yang baik dan cukup kuat. Namun Nikel hanya terpakai sekitar 30-40% dalam proses pelapisan, sisanya akan dibuang sebagai limbah [1]. 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. Salah satunya adalah penyakit kanker pada paru-paru dan rongga hidung manusia jika terkena kontak langsung. Di perairan, logam nikel (Ni) mempunyai baku mutu yang diijinkan sebesar 1,0 mg/L sehingga pengolahan air limbah yang mengandung Nikel harus dilakukan untuk meminimalis konsentrasi Ni yang masuk ke perairan [2].

Beberapa penelitian tentang elektrodeposisi logam dengan menggunakan berbagai jenis elektrolit dan tipe sel ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil penelitian terdahulu

Tipe sel	Elektrolit	Tegangan Listrik (Volt)	Efisiensi Penurunan Konsentrasi Nikel (%)	Energi spesifik (kWh/kg nikel)	Ref.
Dua ruang	Katolit: 2,2 g/L NiSO <sub>4</sub> , sebagai Ni, 1 M NaCl. Anolit: 1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	72,44	6,1625	[3]
Dua ruang	Katolit: 40 g/L NiSO <sub>4</sub> , 40 g/L H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> Anolit: 0,5 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	94,17	5	[4]
Satu ruang	60 g/L Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 6 g/L MgSO <sub>4</sub> , H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 12g/L - 36 g/L, Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , Cr/Ni 0,46%, 0,93%, 1,85%.	2		3 – 11,3	[5]
Satu ruang	10 g/L H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 40 mg/L SDS, of 80 g/L Ni <sup>2+</sup> , 10 g/L Na <sup>+</sup>	0,7			[6]
Satu ruang	60 g/L Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 6 g/L MgSO <sub>4</sub> , 36 g/L H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , 12,5 g/L NiSO <sub>4</sub> , 1,25 g/L Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	2,6 – 2,8	1,12	5	[7]
Satu ruang	20 mg/L Ni <sup>2+</sup> , 20 mg/L Zn <sup>2+</sup> , 250 mg/L Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 100 mg/L LAS, 500 mg/L K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		56		[8]
Satu ruang	Ion-ion Cu, Ni, Fe, Pb, Zn, As, Sb, Bi. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Cl <sup>-</sup>	1,4 - 3	90		[9]
Dua ruang	Katolit: NiSO <sub>4</sub> , CdSO <sub>4</sub> , CuSO <sub>4</sub> , asam sitrat, NTA, EDTA Anolit: 0,1 M NaNO <sub>3</sub>		40		[10]
Satu ruang	NiSO <sub>4</sub> , CdSO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,88 – 1,004			[11]
Satu ruang	NiSO <sub>4</sub> , CuSO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> OH	2,2 – 2,7	99,6	3,05	[12]
Satu ruang	NiSO <sub>4</sub> , H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	4,3	90	4,2	[13]

Berdasarkan Tabel 1, jenis-jenis elektrolit pendukung yang pernah digunakan adalah H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>OH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> dan asam sitrat.

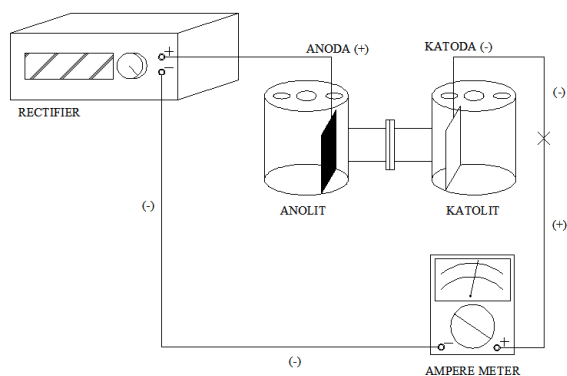
Pada penelitian ini menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai anolit dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai elektrolit pendukung dalam larutan katolit. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dipilih karena mengandung spesi ion yang banyak yaitu 3 spesi sehingga akan menghasilkan konduktivitas listrik yang besar, konduktivitas listrik tsb akan menimbulkan kuat arus listrik yang besar yang berdampak pada proses eklektrodeposisi nikel yang lebih cepat

Penelitian ini menggunakan daun eceng gondok sebagai pengganti membran penyekat antara ruang anoda dan katoda. Senyawa kimia selulosa asetat pada eceng gondok membuat daun eceng gondok tebal sehingga tidak mudah sobek dan *permeable* sehingga ion-ion dapat ditukarkan melalu pori-pori di permukaan daun [3]. Penelitian tentang sifat adsorpsi logam berat pada limbah elektroplating menggunakan ecek gondok telah dilakukan sebelumnya, dari penelitian tersebut diketahui bahwa eceng gondok mampu mengadsorbsi limbah elektroplating seperti Besi (Fe), tembaga (Cu) dan timbal (Pb) [14].

Tujuan dari penelitian ini adalah menurunkan konsentrasi nikel dari larutan tiruan air limbah elektroplating sedangkan tujuannya adalah memperoleh konsentrasi optimum H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam anolit dan, konsentrasi Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dalam katolit dan pH<sub>awal</sub> katolit pada proses elektrodeposisi nikel dari larutan tiruan limbah elektroplating. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah pada dilakukannya variasi konsentrasi anolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,2 M; 0,6 M dan 1 M), pH<sub>awal</sub> (2, 4, 6) dan konsentrasi katolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0 M; 0,2 M; 0,6 M dan 1 M) sehingga dapat memperoleh konsentrasi optimum pada proses elektrodeposisi nikel dari larutan tiruan limbah elektroplating.

### 2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan sel elektrodeposisi dua ruang (*double chamber electrodeposition cell/DCEC*) sistem *batch*. Prinsip yang digunakan adalah proses oksidasi pada anoda dan reduksi pada katoda. Prinsipnya akan terjadi proses reduksi Ni<sup>2+</sup> menjadi Ni, atau penurunan konsentrasi nikel dalam larutan. Rangkaian alat percobaan terdiri dari dua ruang reaktor dengan daun eceng gondok sebagai biomembran penyekat, dilengkapi dengan pelat tembaga ukuran 4 cm x 6 cm x 0,0004 cm sebagai katoda, pelat grafit ukuran 4 cm x 6 cm x 4 mm sebagai anoda, sumber listrik arus searah (rectifier), voltmeter, amperemeter dan termometer [3] sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan peralatan perobaan [3]

Sel elektrodeposisi terdiri dari dua ruang berbentuk silinder masing-masing berdiameter 10 cm, tinggi 10 cm masing-masing diisi larutan anolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ruang anoda) dan katolit NiSO<sub>4</sub> 2000 mg/L ditambah elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 500 mL, kedua ruang berjarak 6 cm yang dihubungkan dengan suatu jembatan dan diberi penyekat berupa daun eceng gondok berdiameter 5 cm.

Termometer dipasang untuk memantau suhu pada masing-masing ruang. *Sampling port* dibuat pada bagian atap sel yang berfungsi untuk tempat pengambilan sampel dan pembuangan gas yang dihasilkan. Sumber arus listrik bolak balik (AC) dihubungkan dengan *rectifier* untuk diubah menjadi arus listrik searah (DC) yang dihubungkan dengan anoda dan katoda sel elektrodeposisi. Percobaan elektrodeposisi dilakukan pada temperatur kamar, dengan tegangan listrik sebesar 5 V. Perubahan pH katolit dan kuat arus listrik diamati selama percobaan yang berdurasi 1 jam setiap tempuhan. Konsentrasi nikel dalam larutan katolit dianalisis menggunakan *atomic absorption spectroscopy* (AAS) pada saat awal dan akhir proses.

Penurunan konsentrasi nikel (penyisihan nikel) dalam larutan katolit dan deposit pada permukaan katoda merupakan parameter utama untuk mengevaluasi proses yang paling optimal. Deposit nikel pada permukaan katoda diukur secara gravimetri. Pada penelitian ini dibuat variasi konsentrasi anolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 0,2 M, 0,6 M dan 1 M; pH<sub>awal</sub> katolit dibuat 2, 4 dan 6 dimodifikasi dengan menambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> serta konsentrasi elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 0 M, 0,2 M, 0,6 M dan 1 M di dalam katolit. Percobaan dilakukan secara matriks sehingga jumlah percobaan sebanyak 36 sampel, dan dilakukan dua kali repetisi atau duplo. Analisis statistik data hasil percobaan dilakukan dengan software Minitab 17 metode multifaktor

### 3. Hasil dan Pembahasan

Ringkasan hasil percobaan dengan variasi komposisi elektrolit dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil percobaan variasi komposisi elektrolit

No	pH <sub>awal</sub> katolit	[Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ] Katolit (M)	[H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ] Anolit (M)	Penurunan Konsentrasi Ion Nikel (%)	Energi Spesifik (kWh/kg Ni)	Deposit Ni (gram)	Efisiensi Arus (%)	Massa Endapan (gram)
1			0,2	19,34	189,888	0,002	2,416	0
2		0	0,6	22,81	22,395	0,016	20,482	0
3			1	14,96	22,433	0,015	20,447	0
4			0,2	14,72	16,604	0,019	27,625	0
5		0,2	0,6	18,86	11,150	0,074	41,138	0
6			1	8,01	62,107	0,015	7,385	0
7	2		0,2	11,32	22,694	0,05	20,211	0
8		0,6	0,6	8,97	26,172	0,051	17,526	0
9			1	11,06	22,259	0,048	20,607	0
10			0,2	3,90	40,505	0,023	11,324	0
11		1	0,6	14,32	38,159	0,028	12,021	0
12			1	5,07	35,466	0,038	12,933	0
13			0,2	15,87	7,412	0,025	61,888	0
14		0	0,6	20,46	4,610	0,043	99,496	0
15			1	19,12	5,268	0,04	87,068	0
16			0,2	19,33	4,578	0,083	100,194	0,035
17		0,2	0,6	20,83	41,468	0,016	11,061	0,008
18			1	15,87	50,727	0,01	9,042	0,19
19	4		0,2	21,58	132,917	0,007	3,451	0,141
20		0,6	0,6	27,99	81,110	0,014	5,655	0,185
21			1	18,96	154,470	0,006	2,969	0,288
22			0,2	15,28	84,545	0,006	5,425	0,225
23		1	0,6	2,94	463,409	0,002	0,990	0,283
24			1	6,89	1014,359	0,001	0,452	0,293
25			0,2	27,91	4,611	0,036	99,479	0
26		0	0,6	15,94	4,661	0,034	98,405	0
27			1	30,39	4,583	0,038	100,079	0
28			0,2	24,22	12,679	0,044	36,178	0,056
29		0,2	0,6	6,83	17,074	0,031	26,864	0,021
30			1	24,60	40,316	0,015	11,377	0,131
31	6		0,2	12,84	86,158	0,009	5,324	0,129
32		0,6	0,6	19,21	165,305	0,005	2,775	0,152
33			1	32,05	81,629	0,013	5,619	0,172
34			0,2	30,52	134,784	0,005	3,403	0,275
35		1	0,6	35,36	124,125	0,008	3,695	0,175
36			1	29,11	302,535	0,004	1,516	0,304

Untuk membandingkan kinerja reaktor elektrodeposisi dari berbagai variasi konsentrasi anolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> di katolit dan pH<sub>awal</sub> katolit dilakukan analisis beberapa parameter yaitu penurunan konsentrasi ion nikel, deposit nikel pada katoda, efisiensi arus dan energi spesifik. Penurunan konsentrasi ion nikel adalah presentasi penurunan konsentrasi ion nikel pada larutan katolit setelah melalui proses elektrodeposisi. Deposit nikel adalah jumlah massa logam nikel yang menempel pada permukaan katoda. Efisiensi arus adalah presentasi penggunaan energi listrik untuk mendepositkan logam nikel di permukaan katoda. Energi spesifik adalah jumlah energi listrik (kWh) yang dibutuhkan untuk mendepositkan logam Ni pada permukaan katoda sebanyak 1 kg.

3.1. Penurunan Konsentrasi Ion Nikel dan Deposit Nikel

Pada ruang katoda terjadi reaksi reduksi ion nikel menjadi logam nikel yang terdepositasi pada permukaan katoda, oleh karena itu konsentrasi ion nikel dalam larutan katolit berkurang pada akhir percobaan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan dengan bantuan software Minitab 17 (analisis ANOVA), diperoleh *P-value* dari variabel-variabel percobaan dan interaksinya seperti ditunjukkan berikut ini:

Tabel 3. Analisis ANOVA terhadap Penurunan Konsentrasi Nikel

Source	P-Value
Model	0,000
Linear	0,000
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	0,968
✓ Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	0,069
✓ pH <sub>awal</sub> Katolit	0,000
2-Way Interactions	0,001
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	0,956
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*pH <sub>awal</sub> Katolit	0,102
✓ Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*pH <sub>awal</sub> Katolit	0,000
3-Way Interactions	0,624
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*pH <sub>awal</sub> Katolit	0,624

Hasil analisis ANOVA di Tabel 3, menunjukkan bahwa variabel yang paling berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi ion nikel adalah pH<sub>awal</sub> katolit, di mana nilai *P-value* nya 0 (<0,05). Tabel 2 menunjukkan kecenderungan penurunan konsentrasi ion nikel yang kecil pada pH<sub>awal</sub> katolit yang lebih rendah. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian mengenai *recovery* nikel yang dilakukan sebelumnya [13]. Hal ini terjadi karena pada pH<sub>awal</sub> katolit 2 mengandung ion H<sup>+</sup> yang lebih banyak dibandingkan pH<sub>awal</sub> katolit 4 dan 6. Ion H<sup>+</sup> tereduksi lebih dulu dibanding Ni<sup>2+</sup> karena Ion H<sup>+</sup> memiliki potensial reduksi lebih positif dibanding Ni<sup>2+</sup>, oleh karena itu semakin banyak jumlah ion H<sup>+</sup> maka akan menghambat penurunan konsentrasi ion Ni<sup>2+</sup>.

Jika pH<sub>awal</sub> katolit cukup tinggi, nikel yang tersisihkan dari larutan katolit sebagian mengendap ke dasar reaktor sebagai Ni(OH)<sub>2</sub> yang berwarna hijau dan sebagian lagi terdepositasi pada permukaan katoda sebagai Ni yang berwarna keperakan. Massa deposit nikel pada katoda dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan dengan bantuan software Minitab 17, diperoleh hubungan matematik antara penurunan konsentrasi ion nikel (%) sebagai fungsi dari [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub>, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> dan pH<sub>awal</sub> katolit, seperti ditunjukkan pada persamaan (1):

$$R = 24,37 - 12,77 H - 26,4 N - 1,21 P + 6,8 H \times N + 3,21 H \times P + 5,75 N \times P - 1,78 H \times N \times P \quad (1)$$

Di mana:

$$R = \text{Penurunan } [Ni^{2+}] (\%)$$

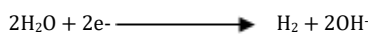
$$H = [H_2SO_4]_{\text{anolit}} (M)$$

$$N = [Na_2SO_4]_{\text{katolit}} (M)$$

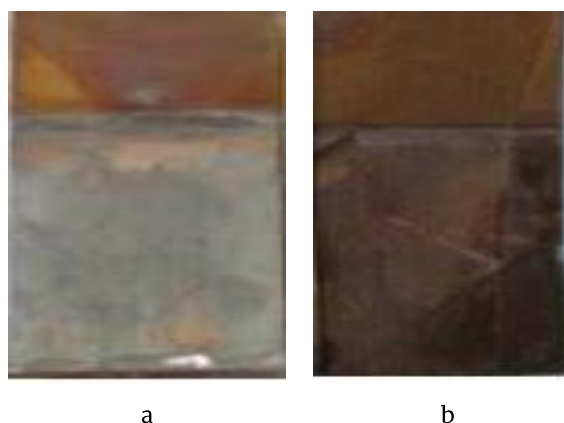
$$P = pH_{\text{awal}} \text{ katolit}$$

Dari persamaan (1) dapat ditentukan komposisi elektrolit yang menghasilkan penurunan konsentrasi ion nikel (%) maksimum, yaitu pada [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> = 1 M ; [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> = 1 M dan pH<sub>awal</sub> katolit = 6, yaitu sebesar 27,87 %.

Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang rendah (antara 0 dan 0,2 M) di dalam katolit menghasilkan deposit nikel yang lebih banyak. Penambahan elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada konsentrasi 0,6 M dan 1 M menghasilkan deposit nikel yang lebih sedikit pada permukaan katoda. Peningkatan konsentrasi elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> di dalam katolit akan meningkatkan pH katolit sehingga memicu pembentukan Ni(OH)<sub>2</sub> berwarna hijau yang mengendap di dasar reaktor [4] sesuai dengan reaksi 1:



Dalam proses elektrodeposisi ini diharapkan lebih banyak deposit pada katoda sebagai nikel murni (Ni). Percobaan variasi pH<sub>awal</sub> katolit 4, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M, memiliki deposit nikel yang paling besar dibandingkan variasi percobaan lainnya yaitu sebesar 0,083 gram Ni murni yang terbentuk di katoda. Deposit Ni pada permukaan katoda tembaga pada dua percobaan komposisi elektrolit ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Deposit nikel pada permukaan katoda tembaga dalam proses elektrodeposisi (a) Warna keperakan menunjukkan adanya pengendapan nikel (b) Warna tembaga menunjukkan kurangnya pengendapan nikel

Hasil percobaan menunjukkan bahwa lapisan permukaan katoda tembaga pada percobaan komposisi elektrolit yang menghasilkan deposit nikel adalah percobaan dengan pH<sub>awal</sub> katolit 4, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> 0,2 M dan [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> 0,2 M yang menghasilkan berwarna

keperakan (warna nikel murni), sedangkan lapisan permukaan katoda tembaga pada percobaan pH<sub>awal</sub> katolit 4, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> 1 M dan [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> 1 M menghasilkan deposit Nikel berwarna merah bata (warna tembaga) yang menunjukkan kurangnya deposit nikel pada permukaan katoda tembaga. Hal ini sejalan dengan yang ditunjukkan Tabel 2, percobaan komposisi elektrolit pH<sub>awal</sub> katolit 4, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> 0,2 M dan [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> 0,2 M menghasilkan deposit Ni sebesar 0,083 gram, sedangkan percobaan komposisi elektrolit pH<sub>awal</sub> katolit 4, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> 1 M dan [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> 1 M menghasilkan deposit 0,001 gram. Hal ini terjadi karena percobaan pH<sub>awal</sub> katolit 4, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> 1 M dan [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> 1 M banyak menghasilkan gelembung gas yang mengganggu deposisi nikel pada permukaan katoda sebagai reaksi reduksi hidrogen yang menjadi parasit pada katoda [4]. Di katoda terjadi reduksi ion H<sup>+</sup> menjadi gelembung gas H<sub>2</sub>, gelembung H<sub>2</sub> akan menghambat pembentukan Ni pada permukaan katoda. Oleh karena itu jika ion H<sup>+</sup> banyak di ruang katoda akan menimbulkan pembentukan gelembung H<sub>2</sub> yang banyak pula.

Berdasarkan data pada Tabel 4 dan dengan bantuan software Minitab 17 (analisis ANOVA), diperoleh P-value dari variabel-variabel percobaan dan interaksinya seperti ditunjukkan berikut ini:

**Tabel 4.** Analisis ANOVA terhadap Massa Deposit Nikel

Source	P-Value
Model	0,004
✓ Linear	0,007
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	0,933
✓ Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	0,158
✓ pH <sub>awal</sub> Katolit	0,001
2-Way Interactions	0,010
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)	0,650
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*pH <sub>awal</sub> Katolit	0,243
✓ Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*pH <sub>awal</sub> Katolit	0,002
3-Way Interactions	0,634
✓ Anolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*Katolit Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (M)*pH <sub>awal</sub> Katolit	0,634

Berdasarkan hasil analisis ANOVA di atas, menunjukkan bahwa variabel yang paling berpengaruh terhadap massa deposit nikel adalah pH<sub>awal</sub> katolit, di mana P-value nya 0,001 (<0,05). Tabel 2 menunjukkan bahwa deposit nikel terbanyak diperoleh pada pH<sub>awal</sub> katolit 4. Pada pH < 2 banyak mengandung ion H<sup>+</sup>. Ion H<sup>+</sup> tersebut akan tereduksi menjadi gas H<sub>2</sub> yang merupakan reaksi parasit terhadap elektrodeposisi nikel. Pada pH > 6 cenderung terjadi pembentukan Ni(OH)<sub>2</sub> yang mengakibatkan penurunan deposit Nikel [4].

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan dengan bantuan software Minitab 17, diperoleh hubungan matematik antara massa deposit nikel (gram) sebagai fungsi dari [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub>, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> dan pH<sub>awal</sub> katolit, seperti ditunjukkan pada persamaan (2):

$$m_{Ni} = 0,0047 + 0,0326 H + 0,0558 N + 0,00697 P - 0,0155 H \times N - 0,00922 H \times P - 0,01797 N \times P + 0,0063 H \times N \times P \quad (2)$$

Di mana:

m<sub>Ni</sub> = Deposit Ni (gram)

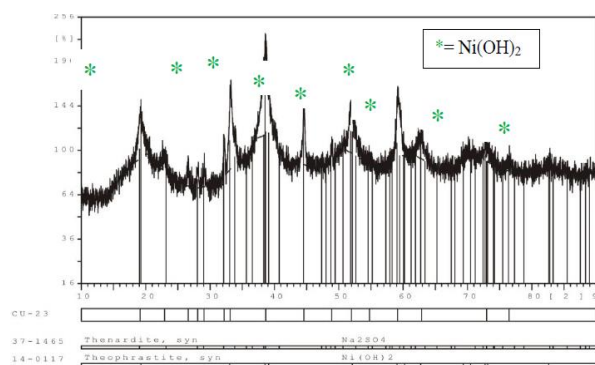
H = [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> (M)

N = [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> (M)

P = pH<sub>awal</sub> katolit

Dari persamaan (2) dapat ditentukan komposisi elektrolit yang menghasilkan berat deposit nikel (gram) maksimum, yaitu pada [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> = 0,2 M ; [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> = 0 M dan pH<sub>awal</sub> katolit = 6 yaitu sebesar 0,0463 gram.

Nikel selain terdepositasi di permukaan katoda, juga terendapkan di dasar reaktor sebagai Ni(OH)<sub>2</sub>. Endapan berwarna hijau yang berada di dasar reaktor adalah Ni(OH)<sub>2</sub> berdasarkan hasil analisis XRD seperti Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Hasil analisis XRD endapan warna hijau pada dasar reaktor

Berdasarkan Tabel 2, jumlah endapan terbanyak terjadi pada percobaan dengan konsentrasi anolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M dan pH<sub>awal</sub> katolit 6. Sedangkan pada semua percobaan yang tidak menggunakan elektrolit pendukung Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tidak terbentuk endapan. Hasil pengamatan ini membuktikan bahwa penambahan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> di dalam katolit akan memicu pembentukan Ni(OH)<sub>2</sub> [4], Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas larutan elektrolit. Semua percobaan yang pH<sub>awal</sub> katoliknya 2 tidak membentuk endapan, hal ini menunjukkan bahwa ion nikel pada pH 2 selalu dalam keadaan terlarut, karena asam akan bereaksi dengan endapan sehingga membentuk asam/garam yang larut sehingga menyebabkan pergeseran kesetimbangan kelarutan.

### 3.2. Energi Spesifik dan Efisiensi Arus

Percobaan pH<sub>awal</sub> katolit 4, [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>katolit</sub> 0,2 M dan [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]<sub>anolit</sub> 0,2 M menghasilkan energi spesifik terendah yaitu 4,578 kWh/kg nikel yang artinya untuk menyisihkan 1 kg ion Ni<sup>2+</sup> dari larutan katolit memerlukan energi sebesar 4,578 kWh. Nilai energi spesifik ini hampir sama dengan beberapa hasil penelitian terdahulu yaitu 3,05 kWh/kg nikel [12], 4,2

kWh/kg nikel [13], 5 kWh/kg nikel [7], 2-12 kWh/kg nikel [5] dan 4-5 kWh/kg nikel [4].

Tabel 2 menunjukkan kecenderungan kenaikan energi spesifik untuk setiap kenaikan  $[Na_2SO_4]_{katolit}$ . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan elektrolit pendukung  $Na_2SO_4$  dapat menghambat pembentukan deposit nikel pada permukaan katoda. Hal ini terjadi karena penambahan  $Na_2SO_4$  mengakibatkan pH katolit meningkat sehingga menaikkan jumlah  $Ni(OH)_2$  yang berakibat deposit menurun dengan reaksi yang sesuai dengan reaksi (1). pH yang terlalu basa akan menghasilkan ion  $OH^-$  yang memicu pembentukan  $Ni(OH)_2$ , sedangkan pada pH asam akan menghasilkan ion  $H^+$  yang memicu pembentukan gelembung  $H_2$  pada permukaan katoda yang dapat menghambat pembentukan Ni di permukaan katoda

Proses elektrodeposisi ini diharapkan lebih banyak deposit pada katoda sebagai nikel (Ni) karena deposit Ni merupakan faktor yang berpengaruh dalam dalam perhitungan energi spesifik, sebagaimana dalam persamaan penentuan energi spesifik jika semakin sedikit deposit Ni akan menghasilkan energi spesifik yang lebih besar. Efisiensi arus merupakan perbandingan antara massa deposit nikel aktual pada katoda dibandingkan dengan massa deposit nikel menurut perhitungan berdasarkan hukum Faraday. Efisiensi arus menunjukkan efektifitas penggunaan arus listrik untuk mendeposisikan nikel pada katoda. Tabel 2 menunjukkan bahwa percobaan elektrodeposisi yang tidak menggunakan elektrolit pendukung  $Na_2SO_4$  di katolit umumnya memiliki nilai efisiensi arus yang besar. Meskipun massa deposit (pembilang) tidak besar, efisiensi arus dapat mencapai harga besar jika kuat arus (faktor dalam penyebut) cukup kecil. Data kuat arus listrik rata-rata untuk setiap percobaan elektrodeposisi dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari data pada Tabel 5 dan Tabel 2 terbukti bahwa efisiensi arus yang tinggi dan energi spesifik yang rendah tidak menghasilkan penurunan  $[Ni^{2+}]$  yang besar. Dengan demikian, diperlukan optimasi yang menyeluruh untuk menentukan kondisi operasi yang dapat menurunkan  $[Ni^{2+}]$  hingga mencapai baku mutu dengan energi spesifik yang rendah. Energi spesifik dan efisiensi arus dihitung berdasarkan massa deposit Ni pada katoda, maka optimasi dilakukan dengan variabel  $[H_2SO_4]_{anolit}$ ,  $[Na_2SO_4]_{katolit}$  dan  $pH_{awal}$  katolit untuk parameter massa deposit Ni dan penurunan  $[Ni^{2+}]$ . Berdasarkan kedua persamaan matematika (1) dan (2) dapat dilakukan optimasi untuk memperoleh penurunan  $[Ni^{2+}]$  dan deposit Ni maksimum, sehingga memperoleh komposisi  $[H_2SO_4]_{anolit}$  0,2 M,  $[Na_2SO_4]_{katolit}$  0 M dan  $pH_{awal}$  katolit 6 yang menghasilkan penurunan  $[Ni^{2+}]$  18,433 % dan deposit Ni 0,042 gram. Hasil optimasi tersebut ketika dibandingkan dengan hasil pengamatan yang terdapat di Tabel 2 terdapat perbedaan nilai konsentrasi dan deposit Ni yaitu penurunan  $[Ni^{2+}]$  sebesar 9,48% dan deposit Ni terbesar 0,006 gram.

Tabel 5. Kuat arus listrik rata-rata

No	$pH_{awal}$ katolit	$[Na_2SO_4]_{katolit}$ (M)	$[H_2SO_4]_{anolit}$ (M)	$I_{rata-rata}$ (mA)	Deposit Ni (gram)	Massa Endapan (gram)
1			0,2	59,2	0,002	0
2		0	0,6	65,6	0,016	0
3			1	70,1	0,015	0
4			0,2	113,9	0,019	0
5		0,2	0,6	197,9	0,074	0
6			1	193,6	0,015	0
7	2		0,2	195,2	0,05	0
8		0,6	0,6	310,0	0,051	0
9			1	256,5	0,048	0
10			0,2	215,3	0,023	0
11		1	0,6	223,0	0,028	0
12			1	321,3	0,038	0
13			0,2	33,6	0,025	0
14		0	0,6	33,3	0,043	0
15			1	45,1	0,04	0
16			0,2	105,7	0,083	0,035
17		0,2	0,6	114,8	0,016	0,008
18			1	124,1	0,01	0,19
19	4		0,2	158,2	0,007	0,141
20		0,6	0,6	253,9	0,014	0,185
21			1	237,3	0,006	0,288
22			0,2	127,7	0,006	0,225
23		1	0,6	220,8	0,002	0,283
24			1	256,8	0,001	0,293
25			0,2	34,6	0,036	0
26		0	0,6	35,1	0,034	0
27			1	36,9	0,038	0
28			0,2	110,7	0,044	0,056
29		0,2	0,6	118,6	0,031	0,021
30			1	130,9	0,015	0,131
31	6		0,2	149,8	0,009	0,129
32		0,6	0,6	171,7	0,005	0,152
33			1	244,2	0,013	0,172
34			0,2	157,8	0,005	0,275
35		1	0,6	201,9	0,008	0,175
36			1	294,1	0,004	0,304

#### 4. Kesimpulan

Efisiensi arus dan energi spesifik tidak berpengaruh dalam penurunan nikel. Kondisi percobaan untuk menghasilkan deposit Ni terbanyak berdasarkan hasil optimasi persamaan (1) dan (2) yaitu (0,042 gram/jam) dan penurunan  $[Ni^{2+}]$  terbesar dalam air limbah, yaitu pada kondisi tegangan kerja 5 Volt, jenis anoda grafit, jenis katoda tembaga, anolit  $H_2SO_4$  0,2 M,  $NiSO_4$  2000 mg Ni/L,  $pH_{awal}$  katolit pada pH 6 dan tanpa elektrolit pendukung  $Na_2SO_4$ .

## Daftar Pustaka

- [1] Konstantinos Dermentzis, Removal of nickel from electroplating rinse waters using electrostatic shielding electrodialysis/electrodeionization, *Journal of Hazardous Materials*, 173, 1, (2010) 647-652 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.133>
- [2] Puji Rahayu, Khabibi Khabibi, Adsorpsi Ion Logam Nikel(II) oleh Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19, 1, (2016) 21-26 <http://doi.org/10.14710/jksa.19.1.21-26>
- [3] Djaenudin Djaenudin, Mindriany Syafila, Edwan Kardena, Isdiriyani Nurdin, Pengaruh Jenis Anoda pada Proses Pemulihan Logam Nikel dari Tiruan Air Limbah Electroplating Menggunakan Sel Elektrodeposisi, *Reaktor*, 14, 3, (2013) 211-217 <https://doi.org/10.14710/reaktor.14.3.211-217>
- [4] Xiu-lian Ren, Qi-feng Wei, Zhe Liu, Jun Liu, Electrodeposition conditions of metallic nickel in electrolytic membrane reactor, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 2, (2012) 467-475 [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(11\)61200-4](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61200-4)
- [5] Pramujo Widiatmoko, Isdiriyani Nurdin, Pengaruh Krom Pada Elektrodeposisi Nikel dari Larutan Nikel-Krom, *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 10, 2, (2011) 54-60
- [6] Jing Lu, Qi-hua Yang, Zhao Zhang, Effects of additives on nickel electrowinning from sulfate system, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, (2010) s97-s101 [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(10\)60020-9](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(10)60020-9)
- [7] Isdiriyani Nurdin, Pramujo Widiatmoko, Yanti, Nickel Recovery from Nickel and Chromium Containing Wastewater by Electrodeposition Method, in: International Conference on Environment 2010 (ICENV 2010), Penang, Malaysia, 2010.
- [8] H. D. Doan, A. Weli, J. Wu, A combined photocatalytic and electrochemical treatment of wastewater containing propylene glycol methyl ether and metal ions, *Chemical Engineering Journal*, 151, 1, (2009) 51-58 <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.01.041>
- [9] I. Giannopoulou, D. Panias, Copper and nickel recovery from acidic polymetallic aqueous solutions, *Minerals Engineering*, 20, 8, (2007) 753-760 <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.02.009>
- [10] Y. Oztekin, Z. Yazicigil, Recovery of metals from complexed solutions by electrodeposition, *Desalination*, 190, 1, (2006) 79-88 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.07.017>
- [11] U. S. Mohanty, B. C. Tripathy, P. Singh, S. C. Das, Effect of Cd<sup>2+</sup> on the electrodeposition of nickel from sulfate solutions. Part II: Polarisation behaviour, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 566, 1, (2004) 47-52 <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2003.11.010>
- [12] P. Fornari, C. Abbruzzese, Copper and nickel selective recovery by electrowinning from electronic and galvanic industrial solutions, *Hydrometallurgy*, 52, 3, (1999) 209-222 [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(99\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(99)00019-5)
- [13] G. Orhan, C. Arslan, H. Bombach, M. Stelter, Nickel recovery from the rinse waters of plating baths, *Hydrometallurgy*, 65, 1, (2002) 1-8 [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(02\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00038-5)
- [14] Sri Suryaningsih, Analisa Sifat Adsorpsi Logam Berat pada Eceng Gondok dalam Pengelolaan Air Limbah Electroplating, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 7, 1, (2017) 44-48 <https://doi.org/10.24198/jmei.v7i01.12368>