

PEROLEHAN KEMBALI PERAK DARI LIMBAH SISA ANALISIS COD MENGGUNAKAN METODA ELEKTROLISIS

RECOVERY OF SILVER FROM SPENT COD TEST SOLUTION USING ELECTROLYSIS METHOD

Djaenudin¹ dan Mindriany Syafila²

¹Program Studi Magister Teknik Lingkungan ITB

²Kelompok Keahlian Rekayasa Air dan Limbah Cair FTSL ITB

¹e-mail: aburizki@yahoo.com

²e-mail: mindri@tl.itb.ac.id

Abstract

The spent COD test solution has unique characteristics, i.e. small in volume and discontinued in production. However, it contains hazardous elements to environment such as heavy metals, i.e. silver, mercury, iron, and chromium, which could be having an economic value if can be reused. This research was subjected to the recovery of silver element the spent COD test solution using electrolysis method. The anode used was made from platinum sized 1 x 1 cm², whereas copper was used as the cathode. The optimum silver recovery using the artificial waste of Ag₂SO₄ was 19.93% and the reaction rate constant value (k) was 0.0363 /minute from initial silver concentration of 199.375 mg/L to became 159.64 mg/L. This result was obtained on the experimental conditions of 5 cm electrode distance, 1 x 3 cm² cathode surface area and DC supply voltage of 6 volt. The experiment using the spent COD test solution was carried out at electrode distance of 5 cm, cathode surface area of 1 x 3 cm² and DC supply voltage of 6 volts. The silver recovery was 47.19% from initial silver concentration of 204.375 mg/L to be 107.92 mg/L and the reaction rate constant value (k) was 0.1053 /minute. The results showed that the increasing in DC supply voltage and the reducing in the electrode distance would increase the silver recovery.

Keywords: COD, electrolysis, recovery, silver

1. PENDAHULUAN

Air limbah laboratorium memiliki karakteristik yang unik, yaitu volume yang umumnya kecil dan timbulan yang bersifat diskontinyu. Meskipun demikian, air limbah laboratorium mengandung substansi yang dapat membahayakan lingkungan seperti logam-logam berat yang termasuk bahan berbahaya dan beracun (B3) (ATSDR, 1989). Khususnya air limbah sisa analisis COD, mengandung logam Ag, Hg, Fe dan Cr yang masih memiliki nilai ekonomis bila dapat dimanfaatkan kembali. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pengolahan air limbah laboratorium lingkungan yang dapat melakukan perolehan kembali (*recovery*)

logam-logam tersebut di atas (Gould *et al.*, 1984).

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan salah satu parameter kunci yang sering digunakan untuk mengetahui apakah suatu air permukaan tercemar oleh bahan organik akibat limbah industri ataupun limbah domestik (AWWA, 1998). Berdasarkan hasil analisis di laboratorium karakteristik air limbah sisa analisis COD mengandung logam Ag 204,375 mg/L, Cr 166,59 mg/L, Hg 700 mg/L dan Fe 415,31 mg/L.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meminimisasi limbah laboratorium analisis air yang mengandung perak dari air limbah sisa

analisis COD. Beberapa peneliti tersebut antara lain Aslam dan Walker (1982), Gould *et al.* (1984), serta Hendrickson (1984). Para peneliti ini telah berhasil melakukan penelitian perolehan kembali perak menggunakan metoda pengendapan dengan garam klorida (NaCl) berlebih. Metoda ini berhasil mengendapkan perak dalam bentuk perak klorida (AgCl) tercampur endapan lainnya. Masih diperlukan proses lebih lanjut untuk memperoleh logam peraknya. Cara lain untuk memperoleh kembali logam perak secara langsung dari air limbah sisa analisis COD adalah menggunakan metoda elektrolisis, khususnya elektrodeposisi (Prentice, 1991).

Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi elektrolisis diantaranya: (1) elektroda (jenis, luas permukaan, kondisi permukaan dan jarak antara elektroda), (2) perpindahan massa (cara perpindahan massa, konsentrasi permukaan dan adsorpsi), (3) larutan (konsentrasi spesies elektrolit, konsentrasi spesi lainnya dan pelarut), (4) listrik (potensial, arus dan jumlah muatan coulomb), dan (5) faktor luar (temperatur, tekanan dan waktu) (Pletcher dan Walsh, 1993).

Bentuk perpindahan massa pada proses elektrolisis umumnya, yaitu migrasi, difusi, dan konveksi (Pletcher dan Walsh, 1993). Migrasi yang dimaksud adalah perpindahan suatu materi bermuatan akibat gaya listrik (gradien potensial listrik). Difusi adalah perpindahan suatu senyawa akibat adanya perbedaan potensial kimia (gradien konsentrasi).

Konveksi yaitu perpindahan akibat adanya transpor hidrodinamika atau pengadukan.

Persamaan kinetika reaksi elektrolisis memiliki orde satu seperti tertulis pada persamaan di bawah ini:

$$-\frac{dC_{(t)}}{dt} = kC_{(t)}$$

dengan $i_{(t)}$ adalah arus sesaat pada waktu t , $C(t)$ konsentrasi logam perak dalam larutan dan k konstanta laju reaksi (Pletcher dan Walsh, 1993).

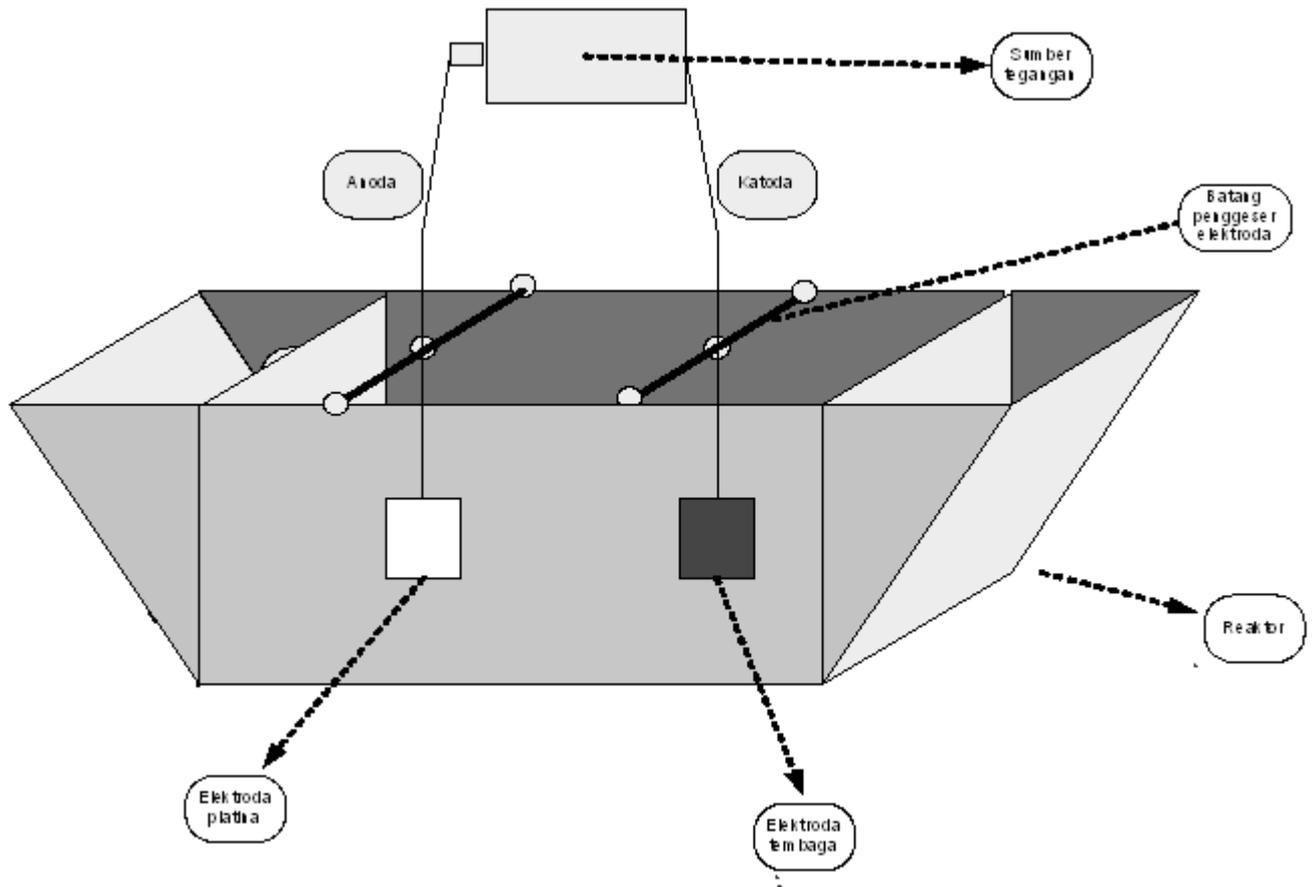
2. METODOLOGI

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: reaktor elektrolisis bervolume 1 liter (20 cm x 5 cm x 10 cm), anoda berbahan platina berukuran 1 x 1 cm², katoda berbahan tembaga berukuran 1 x 1 cm² dan 1 x 3 cm², adaptor, AAS, AVO-meter, konduktivimeter, pH meter, termometer digital, ball filler pipet, pipet ukur 5 ml dan 10 ml, Ag₂SO₄, air limbah sisa analisis COD dan akuades. Rangkaian alat percobaan dapat dilihat pada Gambar 1.

Percobaan perolehan kembali logam perak dari air limbah artifisial yang mengandung ion Ag⁺ (Ag₂SO₄ dilarutkan dalam akuades) menggunakan metoda elektrolisis secara *batch*, yang dilakukan sebanyak 8 run dengan variasi percobaan seperti yang tercantum dalam Tabel 1. Setiap run percobaan dilakukan selama waktu reaksi 4 jam.

Tabel 1. Kondisi percobaan perolehan kembali perak menggunakan larutan air limbah artifisial

Run	Jarak elektroda (cm)	Luas permukaan katoda (cm ²)	Tegangan (volt)
1.	5	1 x 1	2
2.	5	1 x 1	6
3.	5	1 x 3	2
4.	5	1 x 3	6
5.	15	1 x 1	2
6.	15	1 x 1	6
7.	15	1 x 3	2
8.	15	1 x 3	6



Gambar 1. Reaktor Elektrolisis Perak

Percobaan perolehan kembali logam perak dari air limbah sisa analisis COD dilakukan dengan menggunakan metoda elektrolisis secara *batch*. Percobaan ini dilakukan pada jarak elektroda 5 cm, luas permukaan katoda $1 \times 3 \text{ cm}^2$ dan tegangan 6 volt.

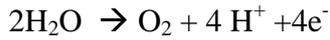
Setiap variasi percobaan dilakukan analisis parameter yang meliputi pH, temperatur, tegangan, arus listrik, konduktivitas dan kadar perak dalam larutan. Analisis konsentrasi ion Ag^+ dalam air limbah sisa analisis COD dengan metoda AAS (*atomic absorption spectrophotometry*). Analisis pH menggunakan pH-meter, temperatur menggunakan termometer digital, serta tegangan dan arus dengan AVO-meter, sedangkan konduktivitas dengan konduktivimeter. Dari hasil analisis parameter dilakukan perhitungan parameter kinetika reaksi penyisihan ion perak (konstanta laju reaksi k) dan % perolehan kembali perak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perolehan Kembali Logam Perak dari Limbah Artifisial

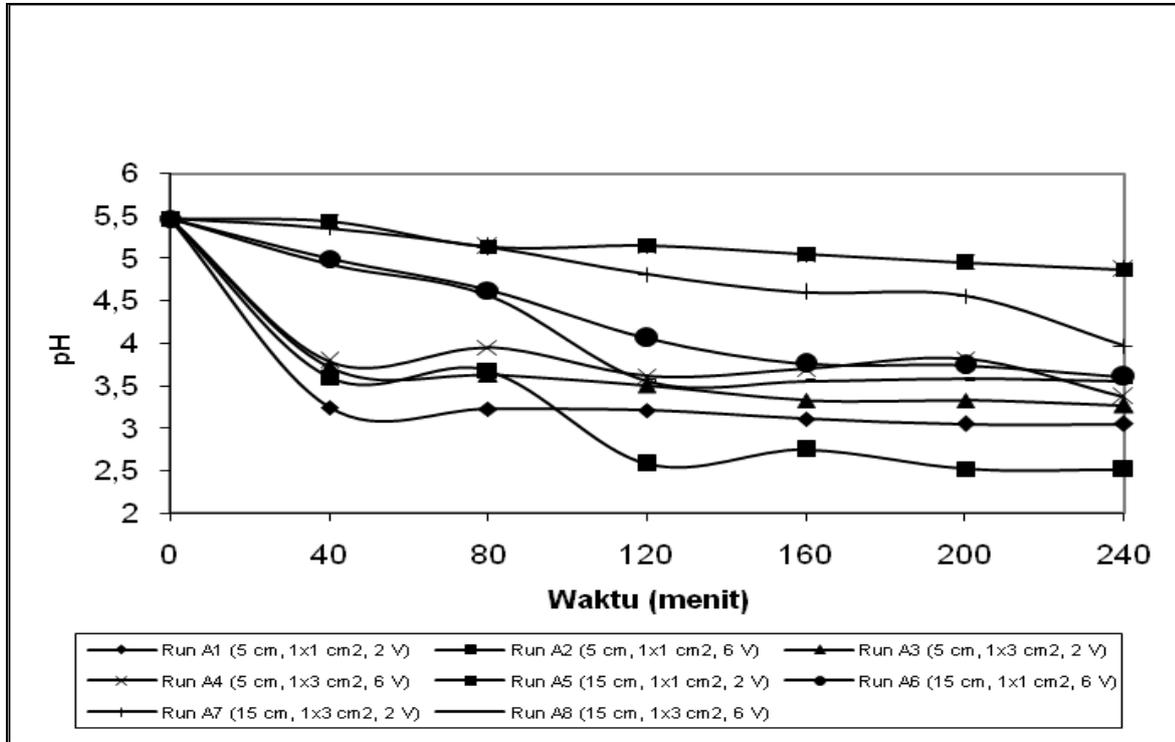
Hasil percobaan dengan menggunakan limbah artifisial ditunjukkan pada Gambar 2 sampai Gambar 7. Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai pH menurun seiring berjalannya waktu percobaan.

Berdasarkan Gambar 2 di atas, nilai pH awal elektrolit larutan Ag_2SO_4 adalah sekitar 5,5. Selama 4 jam proses elektrolisis berlangsung terjadi penurunan nilai pH hingga menjadi 5 untuk run A5 dan sekitar 2,5 untuk run A2. Run A1, A3, A4, A6, A7 dan A8 nilai pH turun mencapai antara 2,5 hingga 5. Penurunan nilai pH terjadi karena selama proses elektrolisis berlangsung terjadi reaksi perubahan air menjadi H^+ dan gas O_2 di anoda seperti ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut ini:

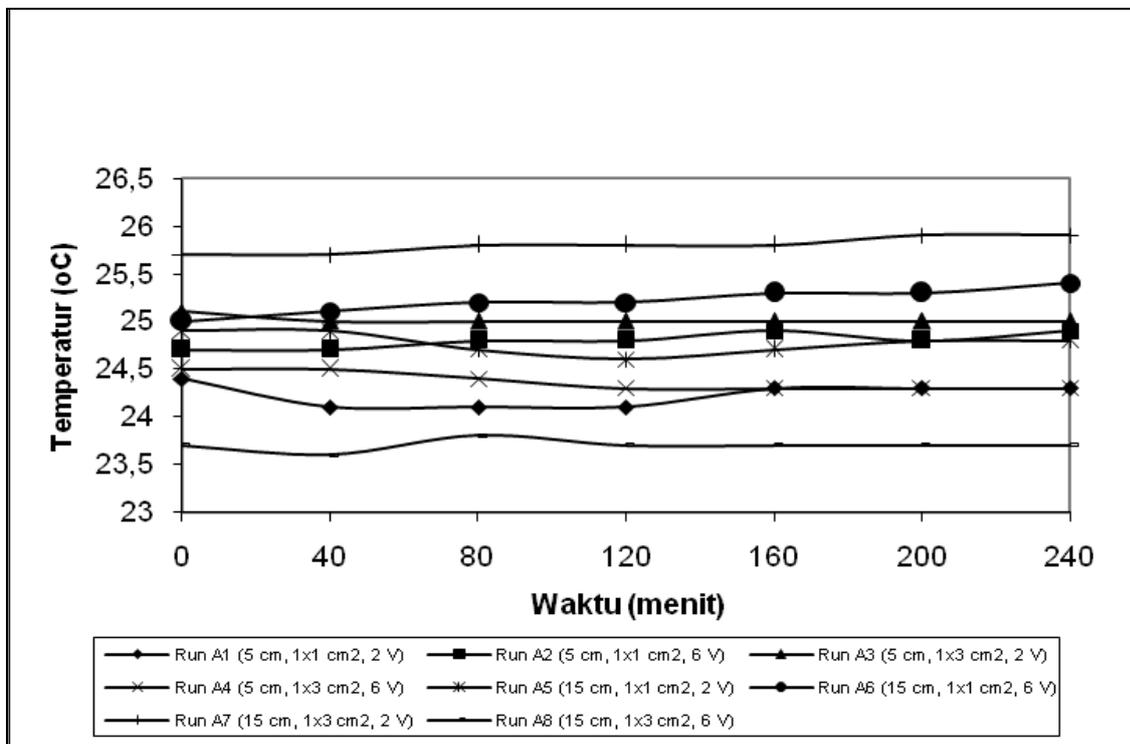


Hal ini mengakibatkan tingkat keasaman larutan akan bertambah.

Temperatur larutan cenderung mengalami peningkatan seiring berjalannya waktu percobaan sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3.



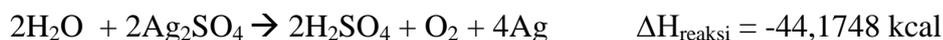
Gambar 2. Perubahan pH Terhadap Waktu dalam Larutan Elektrolit Ag_2SO_4



Gambar 3. Perubahan Temperatur Terhadap Waktu dalam Larutan Elektrolit Ag_2SO_4

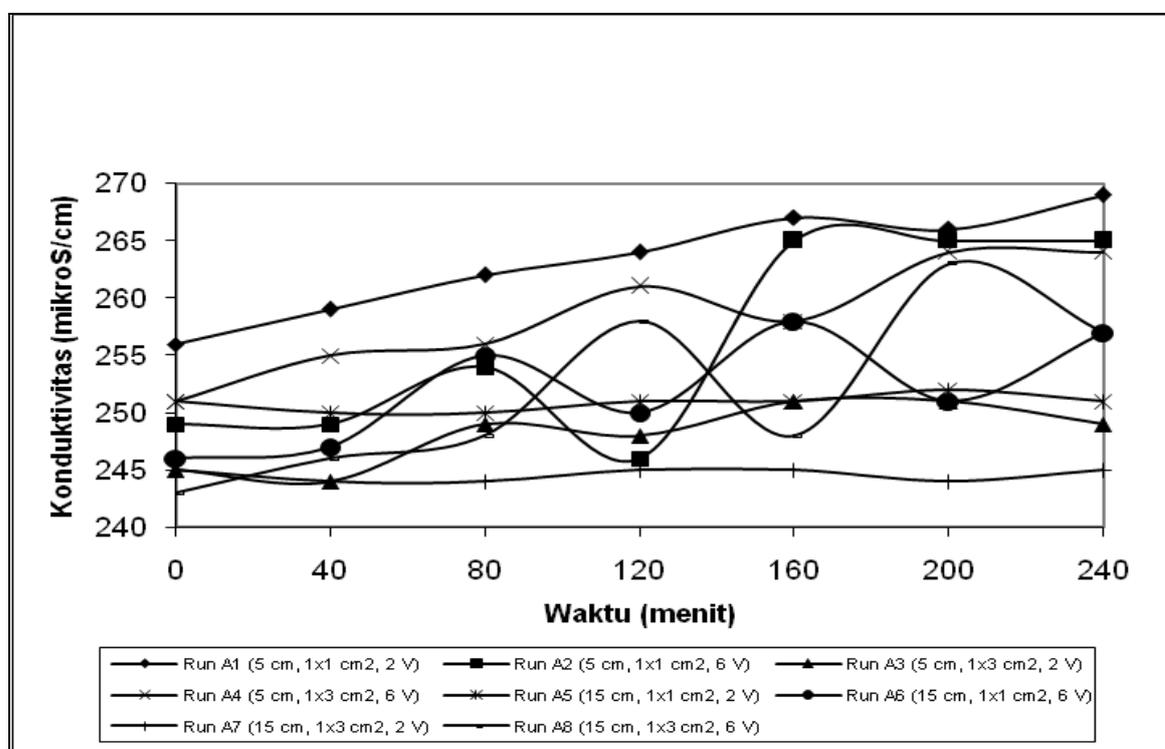
Berdasarkan Gambar 3 di atas, temperatur berkisar antara 23,5°C hingga 26°C. Perbedaan temperatur awal dari setiap percobaan terjadi karena perubahan temperatur ruang, di mana tempat berlangsungnya percobaan. Peningkatan temperatur terjadi karena reaksi elektrolisis merupakan jenis reaksi

eksotermis. Reaksi eksotermis menghasilkan energi panas yang dibuang ke lingkungan sekitarnya. Dalam istilah elektrolisis sering disebut *Joule heating*. Persamaan termodinamika reaksi dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut ini (Perry dan Green, 1999):



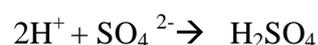
Dari persamaan reaksi di atas diperoleh nilai ΔH_{reaksi} sebesar -44,1748 kcal. Nilai ΔH_{reaksi} bertanda negatif menunjukkan bahwa reaksi tersebut merupakan jenis reaksi eksotermis. Reaksi ini akan menghasilkan panas ke

lingkungannya sehingga suhu larutan meningkat. Hasil percobaan selanjutnya menunjukkan bahwa konduktivitas larutan cenderung meningkat seiring berjalannya waktu percobaan (Gambar 4).



Gambar 4. Perubahan Konduktivitas Terhadap Waktu dalam Larutan Elektrolit Ag_2SO_4

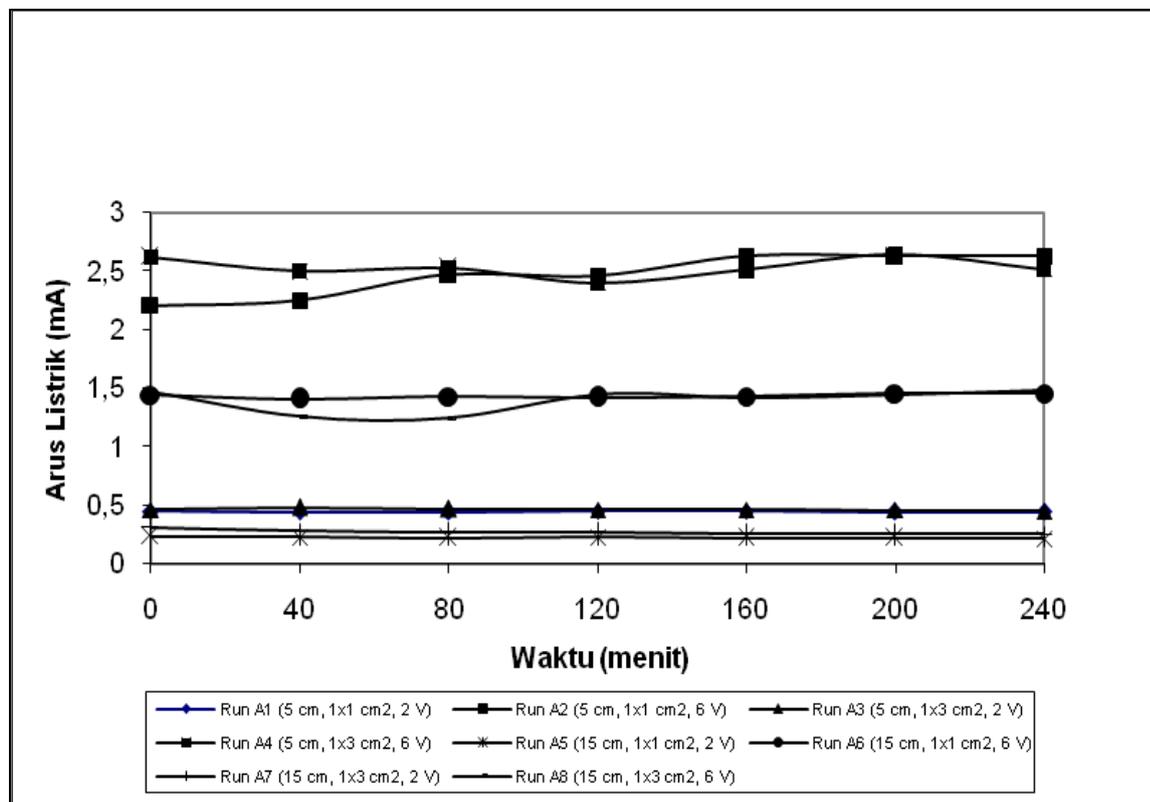
Berdasarkan Gambar 4, nilai konduktivitas larutan selama proses elektrolisis berlangsung berkisar antara 242 hingga 269 mikro-Siemen/cm. Peningkatan konduktivitas terjadi karena dihasilkannya larutan asam sulfat yang semakin pekat. Asam sulfat merupakan *electrolite support* yang akan meningkatkan konduktivitas larutan. Asam sulfat diperoleh dari reaksi antara ion sulfat dan H^+ seperti reaksi berikut:



Dari percobaan dengan variasi diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5, nilai rata-rata arus listrik untuk run A1 0,44 mA, run A2 2,47 mA, run A3 0,46 mA, run A4 2,53 mA, run A5 0,22 mA, run A6 1,43 mA, run A7 0,27 mA dan run A8 1,39 mA. Nilai arus listrik pada percobaan yang menggunakan suplai

tegangan 6 volt memiliki nilai yang besar yaitu rata-rata berkisar 2,5 mA untuk jarak antar elektroda 5 cm dan 1,5 mA untuk jarak antar elektroda 15 cm. Sedangkan pada suplai tegangan 2 volt, nilai arus listrik yang mengalir rata-rata di bawah 0,5 mA. Dengan

demikian pengaruh perbedaan tegangan suplai sangat besar terhadap perubahan arus yang mengalir dalam larutan. Berdasarkan hukum Faraday besarnya arus listrik yang mengalir ke dalam larutan sebanding dengan nilai perolehan kembali perak (Prentice, 1991).



Gambar 5. Perubahan Arus Listrik Terhadap Waktu dalam Larutan Elektrolit Ag_2SO_4

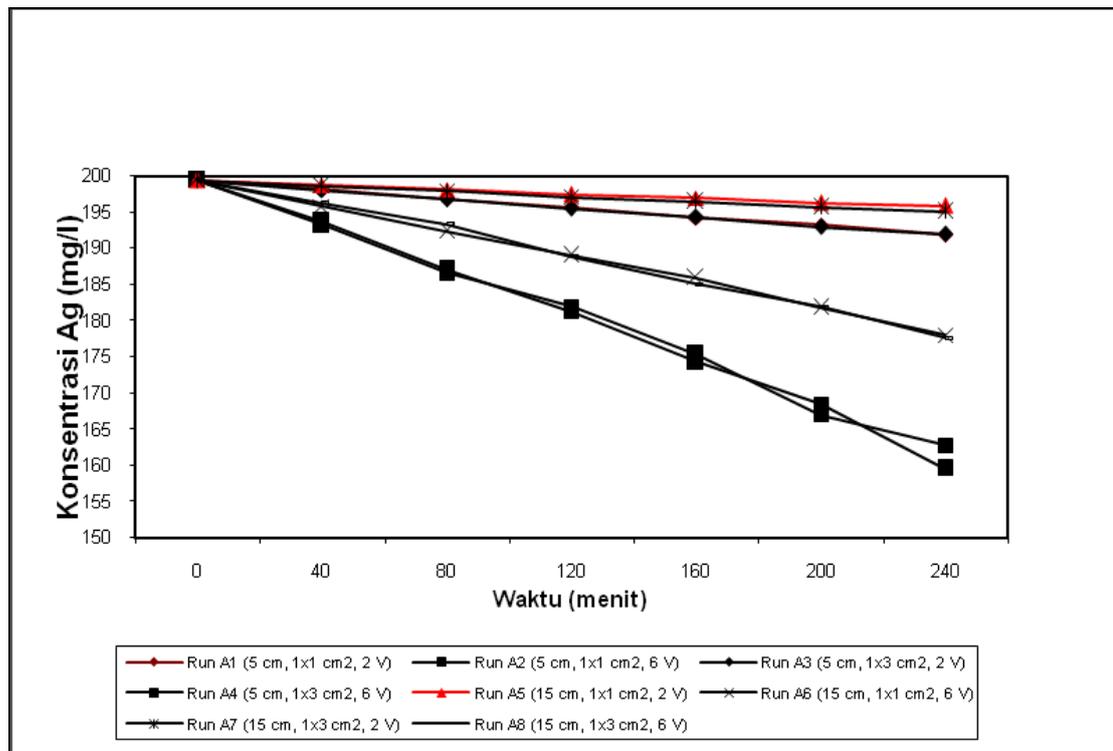
Jarak antar elektroda yang semakin dekat akan meningkatkan arus. Larutan dapat diasumsikan sebagai tahanan. Semakin pendek tahanan, nilai tahanan akan semakin kecil sehingga besarnya arus yang mengalir akan semakin besar sesuai dengan hukum ohm. Sedangkan perubahan luas permukaan katoda berpengaruh sangat kecil terhadap perolehan kembali logam perak. Hal ini dikarenakan luas permukaan anoda tidak berubah sehingga besarnya arus yang mengalir tidak berubah (Prentice, 1991).

Jika dilihat efisiensi penyisihan perak dari larutan terlihat bahwa konsentrasi Ag dalam larutan menurun seiring berjalannya waktu percobaan (Gambar 6).

Berdasarkan Gambar 6, terjadi penurunan konsentrasi perak dari konsentrasi awal 199,38. Setelah proses elektrolisis berlangsung selama 4 jam konsentrasi perak dalam elektrolit pada run A1 191,93 mg/L, run A2 159,64 mg/L, run A3 192,02 mg/L, run A4 162,82 mg/L, run A5 195,92 mg/L, run A6 178,05 mg/L, run A7 195,11 mg/L dan run A8 177,61 mg/L.

Penurunan nilai konsentrasi perak dalam larutan menunjukkan bahwa semakin lama reaksi berlangsung maka deposisi logam perak pada katoda akan semakin bertambah. Kecepatan penurunan konsentrasi logam perak tertinggi dalam larutan diperoleh untuk run A2 dan run A4. Nilai deposisi dan perolehan

kembali logam perak ditunjukkan dalam Tabel 2 dan 3.



Gambar 6. Perubahan Konsentrasi Perak Terhadap Waktu dalam Larutan Elektrolit Ag_2SO_4

Tabel 2. Deposisi Logam Perak Pada Katoda

No	Menit	Deposisi Ag (mg)							
		Run A1	Run A2	Run A3	Run A4	Run A5	Run A6	Run A7	Run A8
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	40	0,96	4,53	1,05	4,90	0,50	2,84	0,62	2,46
3	80	1,97	9,82	2,09	10,19	1,00	5,61	1,17	4,81
4	120	2,97	14,47	3,13	13,92	1,52	8,24	1,81	8,39
5	160	4,08	20,06	4,05	19,15	1,91	10,75	2,29	11,47
6	200	4,86	24,72	5,09	25,88	2,45	14,02	2,91	13,94
7	240	5,96	31,79	5,88	29,24	2,77	17,06	3,41	17,41

Tabel 3. Perolehan Kembali Logam Perak

No	Menit	Perolehan kembali Ag (%)							
		Run A1	Run A2	Run A3	Run A4	Run A5	Run A6	Run A7	Run A8
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	40	0,60	2,84	0,66	3,07	0,31	1,78	0,39	1,54
3	80	1,23	6,16	1,31	6,39	0,63	3,52	0,74	3,01
4	120	1,86	9,07	1,96	8,73	0,95	5,17	1,13	5,26
5	160	2,56	12,58	2,54	12,00	1,20	6,74	1,44	7,19
6	200	3,04	15,50	3,19	16,23	1,54	8,79	1,82	8,74
7	240	3,73	19,93	3,69	18,33	1,74	10,70	2,14	10,92

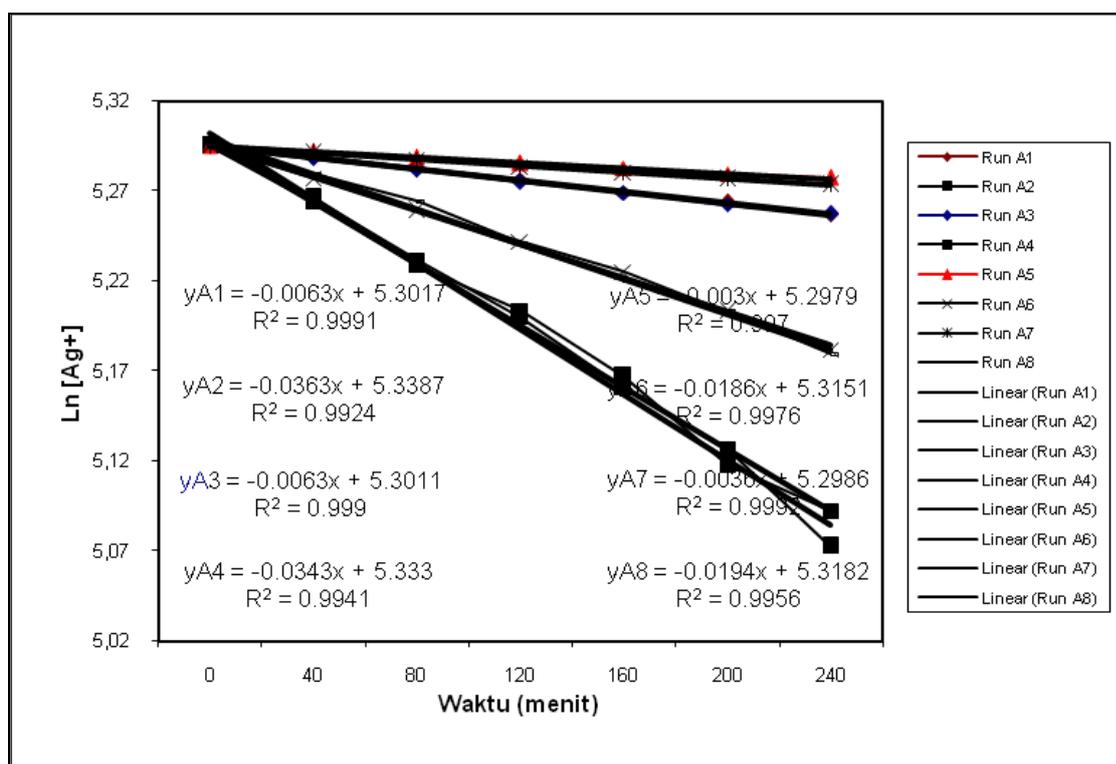
Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa selama 4 jam percobaan perolehan kembali logam perak terbesar yaitu 19,93%. Perolehan tersebut terjadi pada percobaan yang menggunakan jarak antar elektroda 5 cm, luas

permukaan katoda 1 x 3 cm² dan tegangan 6 volt (run A2). Sedangkan perolehan kembali logam perak terendah sebesar 1,74%. Perolehan ini terjadi pada percobaan yang menggunakan jarak antar elektroda 15 cm, luas

permukaan katoda $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dan tegangan 2 volt (run A5). Hal ini terjadi karena pada saat tegangan dinaikkan, nilai arus bertambah sesuai dengan hukum ohm. Ber-tambahnya arus meningkatkan jumlah massa logam yang terdeposisi sesuai dengan hukum Faraday seperti persamaan berikut (Prentice, 1991):

$$m = \frac{MIt}{nF}$$

Reaksi elektrolisis memiliki orde satu maka pada Gambar 7 diplotkan grafik antara $\ln [Ag^+]$ terhadap waktu untuk memperoleh nilai k (konstanta laju reaksi).



Gambar 7. Grafik Penentuan Nilai k dalam Larutan Elektrolit Ag_2SO_4

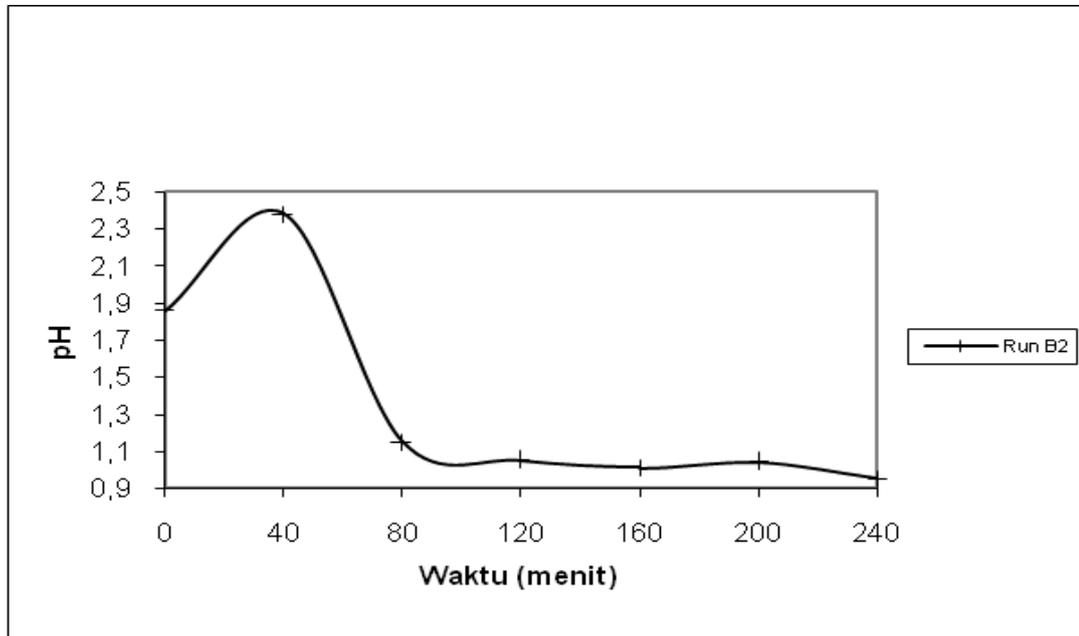
Nilai k diperoleh dari nilai kemiringan garis (Pletcher and Walsh, 1993). Berdasarkan Gambar 7 di atas maka nilai konstanta laju reaksi (k) untuk reaksi elektrolisis perak pada run A1 0,0063 /menit, run A2 0,0363 /menit, run A3 0,0063 /menit, run A4 0,0343 /menit, run A5 0,003 /menit, run A6 0,0186 /menit, run A7 0,0036 /menit dan run A8 0,0194 /menit. Nilai k terbesar diperoleh untuk percobaan yang menggunakan jarak antar elektroda 5 cm, luas permukaan katoda $1 \times 3 \text{ cm}^2$ dan tegangan 6 volt yaitu sebesar 0,0363/menit (run A2). Nilai k akan sangat berguna untuk memprediksi besarnya perolehan kembali logam perak pada waktu tertentu. Semakin besar nilai k maka semakin cepat perolehan kembali logam perak terjadi.

Percobaan Elektrolisis Logam Perak Menggunakan Air Limbah Sisa Analisis COD

Hasil percobaan elektrolisis menggunakan air limbah sisa analisis COD ditunjukkan pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 12. Pada kondisi jarak elektroda 5 cm, luas permukaan katoda $1 \times 3 \text{ cm}^2$ dan tegangan 6 volt dalam percobaan ini dinyatakan sebagai kondisi percobaan run B2. Kondisi percobaan ini merupakan kondisi yang memberikan hasil yang optimum pada percobaan dengan menggunakan limbah artifisial. Pengamatan nilai pH sebagaimana disajikan pada Gambar 8. Pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa nilai pH menurun seiring berjalannya waktu percobaan.

Pada Gambar 8, terlihat penurunan nilai pH mulai sekitar 2 menjadi sekitar 1. Nilai pH awalnya lebih rendah dibandingkan percobaan pada bagian A, yaitu sekitar 1,9. Hal

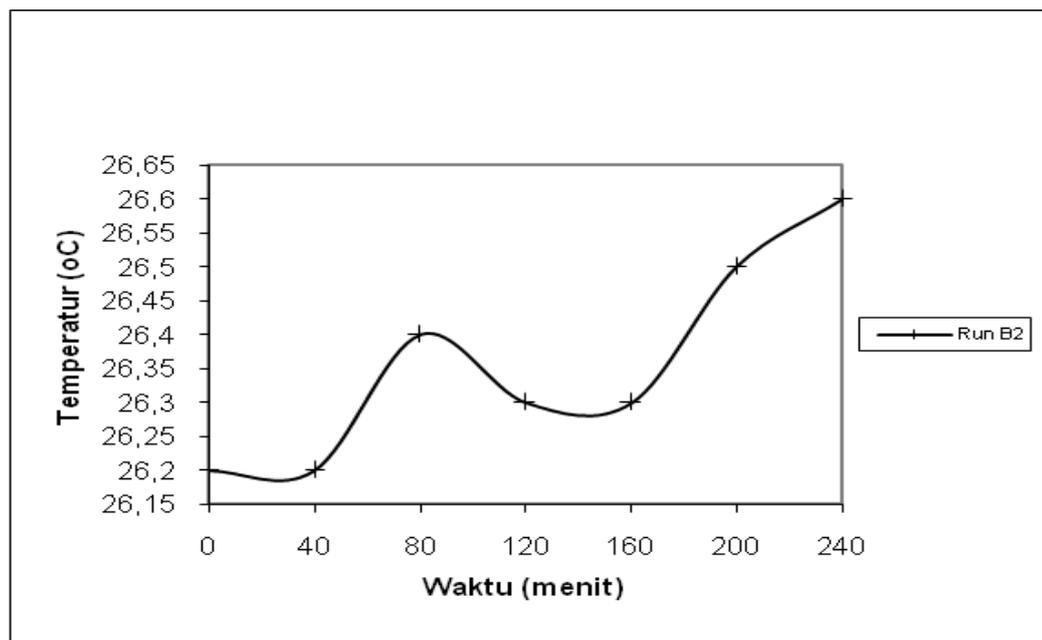
ini disebabkan karena konsentrasi ion sulfat lebih banyak. Penurunan pH selama percobaan terjadi karena bertambahnya pelepasan ion H^+ ke dalam elektrolit.



Gambar 8. Perubahan pH Terhadap Waktu dalam Elektrolit Air Limbah Sisa Analisis COD

Hasil pengamatan pada temperatur menunjukkan bahwa temperatur larutan cenderung meningkat seiring berjalannya waktu percobaan (Gambar 9).

Pada percobaan ini, juga terjadi peningkatan temperatur sebagaimana yang terjadi pada percobaan A. Peningkatan temperatur selama percobaan 4 jam tidak melebihi $0,5^{\circ}C$.

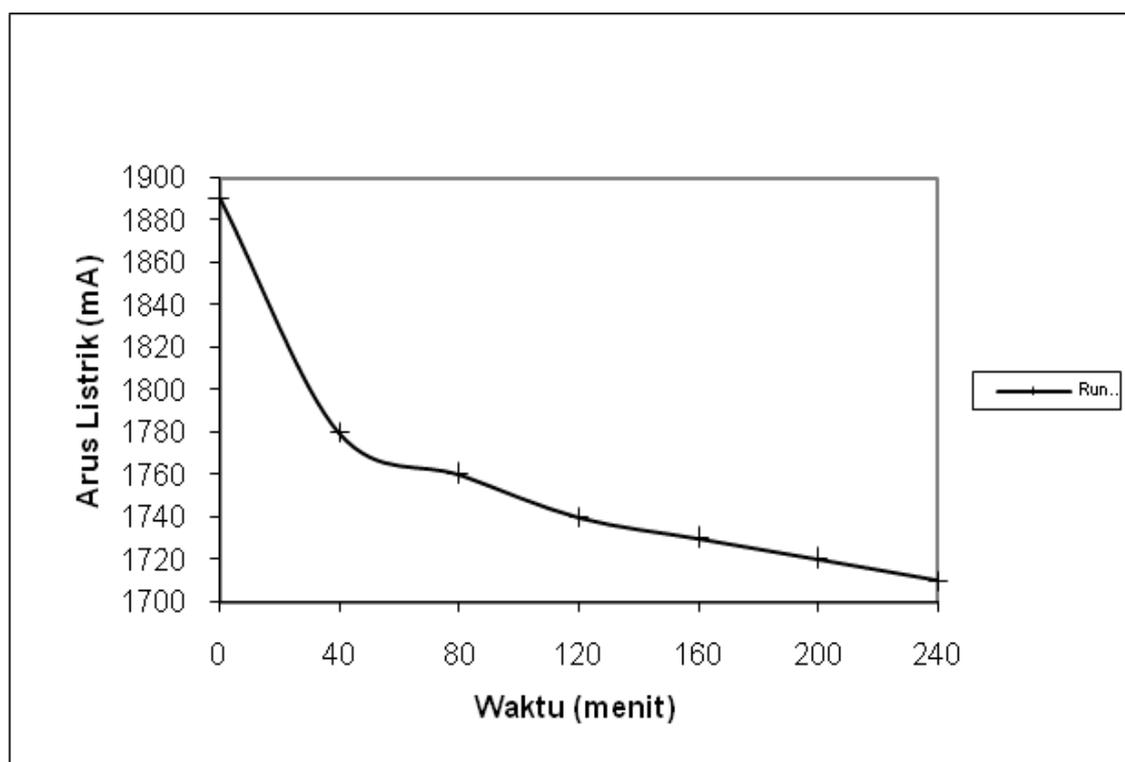


Gambar 9. Perubahan Temperatur Terhadap Waktu dalam Elektrolit Air Limbah Sisa Analisis COD

Hasil percobaan menunjukkan bahwa konduktivitas listrik pada percobaan ini memiliki nilai melebihi 20 miliSiemens/cm. Padahal batas nilai maksimum alat ukur konduktivimeter 20 miliSiemens/cm, Sehingga nilai konduktivitas larutan tidak terukur. Tingginya nilai konduktivitas larutan

ini akibat dari banyaknya ion logam yang terlarut selain perak seperti Hg, Cr dan Fe.

Hasil pengamatan pada nilai arus menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai arus listrik sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10. Perubahan Arus Listrik Terhadap Waktu dalam Elektrolit Air Limbah Sisa Analisis COD

Nilai arus listrik pada percobaan ini lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan pada bagian A di atas. Hal ini terjadi karena pada percobaan ini nilai konduktivitasnya tinggi atau nilai tahanannya rendah sehingga jumlah arus yang mengalir jadi tinggi.

Berdasarkan Gambar 10 di atas, nilai arus listrik pada awal percobaan sebesar 1890 mA dan menurun hingga 1710 mA setelah percobaan berlangsung selama 4 jam. Terjadinya penurunan nilai arus listrik pada percobaan ini adalah akibat banyaknya logam-logam yang berada dalam elektrolit terdeposisi pada katoda. Sehingga konduktivitas elektrolit jadi berkurang, yang

tentunya akan berakibat pada penurunan jumlah arus listrik yang mengalir dalam elektrolit.

Efisiensi penyisihan perak diperoleh dari pengamatan terhadap konsentrasi Ag di dalam larutan. Nilai konsentrasi Ag dalam larutan menurun seiring berjalannya waktu percobaan sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 11.

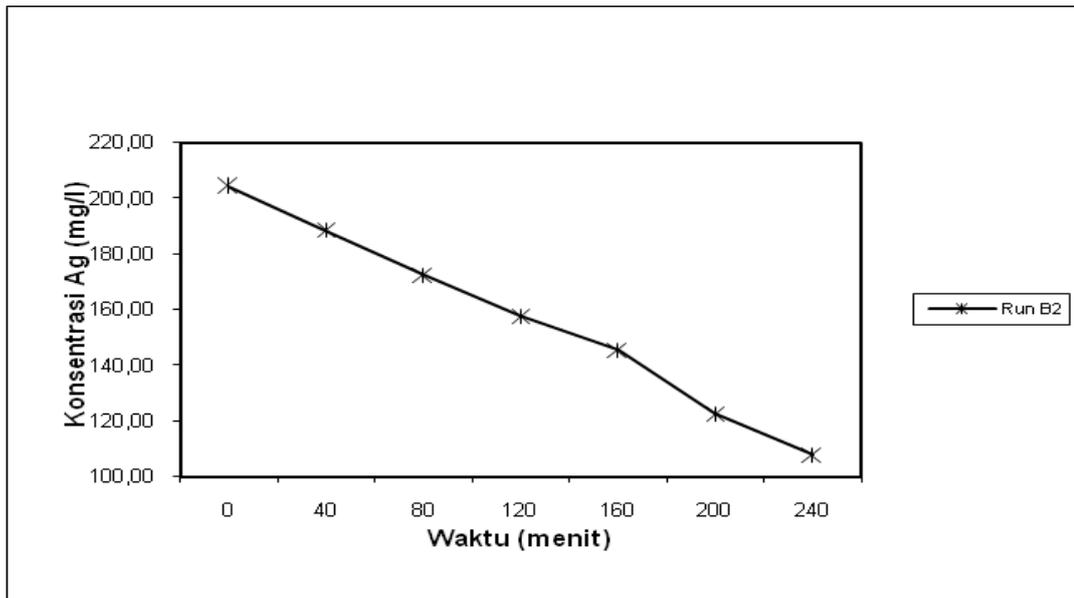
Penurunan nilai konsentrasi perak dalam larutan menunjukkan bahwa semakin lama reaksi berlangsung maka deposisi logam perak pada katoda akan bertambah. Nilai deposisi dan perolehan kembali logam perak ditunjukkan oleh Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Deposisi Logam Perak Pada Katoda

No	Menit	Deposisi Ag (mg)
		Run B2
1	0	0
2	40	12,59
3	80	25,53
4	120	37,39
5	160	47,09
6	200	65,45
7	240	77,16

Tabel 6. Perolehan Kembali Logam Perak

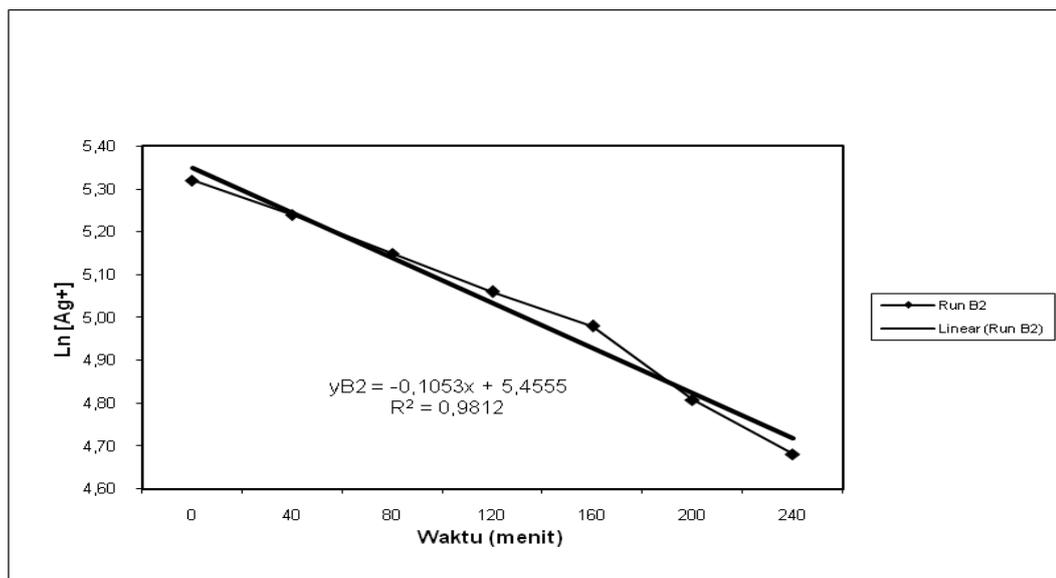
No	Menit	Perolehan kembali Ag (%)
		Run B2
1	0	0
2	40	7,70
3	80	15,61
4	120	22,87
5	160	28,80
6	200	40,03
7	240	47,19



Gambar 11. Perubahan Konsentrasi Perak Terhadap Waktu dalam Elektrolit Air Limbah Sisa Analisis COD

Tabel 5 dan 6 menunjukkan bahwa perolehan kembali logam perak selama percobaan berlangsung 4 jam adalah sebesar 47,19%.

Reaksi elektrolisis memiliki orde satu sehingga diplotkan grafik antara $\ln [Ag^+]$ terhadap waktu untuk memperoleh nilai k (Gambar 12).



Gambar 12. Grafik Penentuan Nilai k (Konstanta Laju Reaksi) dalam Elektrolit Air Limbah Sisa Analisis COD

Nilai k untuk percobaan yang menggunakan jarak antar elektroda 5 cm, luas permukaan katoda $1 \times 3 \text{ cm}^2$, tegangan 6 volt dan elektrolit larutan air limbah sisa analisis COD yaitu sebesar 0,1053/menit. Nilai k akan sangat berguna untuk memprediksi besarnya perolehan kembali logam perak pada waktu tertentu. Semakin besar nilai k maka semakin cepat perolehan kembali logam perak terjadi.

Jumlah kebutuhan energi untuk limbah sisa analisis COD selama 4 jam percobaan adalah 0,04104 kwh. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan dengan percobaan menggunakan limbah artifisial walaupun menggunakan besar tegangan dan waktu yang sama. Hal ini disebabkan karena pada percobaan dengan limbah sisa analisis COD nilai arus yang mengalir dalam elektrolit jauh lebih besar dibandingkan dengan percobaan dengan limbah artifisial. Hal ini kemungkinan karena adanya logam-logam lain yang terkandung di dalam limbah sisa analisis COD yang juga akan ikut terpengaruh selama proses elektrolisis berlangsung.

4. KESIMPULAN

Hasil perolehan kembali perak optimum sebesar 19,93% dan nilai k sebesar 0,0363 /menit dari konsentrasi awal perak sebesar 199,375 mg/L menjadi 159,64 mg/L. Hasil tersebut diperoleh pada percobaan yang menggunakan limbah artifisial Ag_2SO_4 untuk variasi jarak elektroda 5 cm, luas katoda $1 \times 3 \text{ cm}^2$ dan tegangan listrik DC 6 volt. Percobaan yang menggunakan air limbah sisa analisis COD dilakukan pada jarak elektroda 5 cm, luas katoda $1 \times 3 \text{ cm}^2$ dan tegangan listrik DC 6 volt. Perolehan kembali perak diperoleh sebesar 47,19% dari konsentrasi awal perak 204,375 mg/L menjadi 107,92 mg/L dan nilai

k sebesar 0,1053/menit. Peningkatan tegangan dan kedekatan jarak antar elektroda meningkatkan nilai perolehan kembali perak. Semakin besar nilai k , semakin cepat perolehan kembali logam terjadi. Kesimpulan lain diperoleh bahwa kehadiran ion-ion logam lain dalam air limbah sisa analisis COD mungkin berpengaruh terhadap jumlah perolehan kembali perak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aslam, S. dan Walker, O. L. (1982). Recycling of mercury and silver from COD waste. *Journal Water Pollution Control Federation*. 54. 1148.
- ATSDR (1989). Toxicology profile for silver, *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 examination of water and waste water analysis*. 20th edition. AWWA, Washington DC.
- Gould, J.P., Masingale, M.Y., dan Miller, M. (1984). Recovery of silver and mercury from COD samples by iron cementation. *Journal Water Pollution Control Federation*. 56 (3). pp. 280 – 286.
- Hendrickson, K.J. (1984). Removal of silver and mercury from spent COD test solution. *Journal Water Pollution Control Federation*. 56 (5). pp. 468 – 473.
- Perry, R.H. dan Green, D.W (2007). *Chemical engineers' handbook*. McGraw Hill Companies Inc., New York.