

ISSN : 1693 - 1750

PROSIDING



SEMINAR

TJIPTO UTOMO

VOLUME 2 TAHUN 2003

**PENINGKATAN PERANAN PENDIDIKAN TEKNIK KIMIA DALAM
PENGELOLAAN SUMBER DAYA ALAM INDONESIA**



Kamls, 21 Agustus 2003

Gedung Serba Guna ITENAS

Jl. P.H.H. Mustafa No. 23 Bandung

**Jurusan & Himpunan Mahasiswa
Teknik Kimia**

Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung



DEIONISASI SIANIDA DENGAN ELEKTRODEIONISASI

Maya R.M., Sirin F., Gulam H., dan I. Rinaldi
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional
Kampus ITENAS, Jl. PKH. Hasan Mustafa No: 23 Bandung (40124)
No. Telepon: (022) 7272215 ext. 141/142, No. Fax: (022) 7202892
e-mail: st.ignatius@bdg.centrin.net.id

Abstrak

Sianida (CN⁻) merupakan zat kimia yang bersifat racun. Jika terkena racun sianida ini, maka dapat menyebabkan kematian pada makhluk hidup tersebut. Industri pelapisan logam (elektroplating) adalah salah satu industri yang menghasilkan limbah sianida dengan kadar yang cukup tinggi. Penanganan limbah sianida pada industri pada umumnya menggunakan proses klorinasi atau penukar ion. Pada saat ini, banyak para peneliti yang menyatakan bahwa proses elektrodeionisasi merupakan salah satu teknologi alternatif untuk mengatasi limbah sianida. Proses elektrodeionisasi ini menggabungkan proses elektrodialisis dengan penukar ion tanpa menggunakan regenerasi resin. Pada penelitian ini, proses elektrodeionisasi digunakan untuk menurunkan kadar sianida yang terdapat pada limbah industri elektroplating. Pada proses elektrodeionisasi ini diperoleh laju alir dan tegangan terbaik yang dapat memberikan persen penyisihan terbesar, yaitu 99% adalah 5,5206 cm/detik dan 60 volt.

Kata kunci: elektrodeionisasi; membran; sianida

1. Pendahuluan

Pembangunan di Indonesia saat ini sedang digiatkan dalam berbagai bidang, hal ini menyebabkan kebutuhan akan bahan – bahan / komponen baik yang terbuat dari logam maupun non-logam relatif meningkat. Hal ini secara tidak langsung telah mendorong terhadap pertumbuhan industri di Indonesia, salah satunya adalah industri lapis listrik (*elektroplating*) yang merupakan bagian dalam industri barang logam, atau sebagai industri jasa yang berdiri sendiri[6].

Pada saat ini industri lapis listrik berjumlah lebih dari 300 buah yang tersebar di seluruh Indonesia[6]. Adanya kegiatan industri ini, akan menghasilkan hasil samping yang tidak diharapkan, yaitu bahan – bahan buangan beracun yang dapat menyebabkan pencemaran udara, air, maupun tanah. Bahan – bahan buangan tersebut dapat berupa debu logam, asap atau gas beracun, dan bahan-bahan kimia lainnya. Sianida adalah salah satu contoh bahan buangan yang dihasilkan dari industri lapis listrik, dan mempunyai sifat – sifat yang berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup maka perlu usaha – usaha untuk mengolah limbah tersebut sebelum membuangnya ke lingkungan. Adapun penanganan limbah sianida yang telah dilakukan adalah dengan proses klorinasi dan penukar ion.

Proses klorinasi dan penukar ion merupakan proses yang relatif sederhana dan murah, dimana sianida yang terdapat dalam limbah dapat dihilangkan sampai 98 – 100 %[6]. Akan tetapi, jika ditinjau dari segi proses, kedua proses tersebut mempunyai kelemahan, yaitu akan dihasilkannya senyawa sianat (oksidasi parsial) atau senyawa klor (oksidasi sempurna) pada proses klorinasi[6] dan limbah hasil regenerasi resin pada penukar ion

Elektrodeionisasi adalah metoda pengolahan limbah sianida dengan menggunakan membran dan resin penukar ion. Metoda ini sangat ramah lingkungan dan tidak memerlukan zat tambahan dalam pengolahannya[11]. Limbah yang mengandung sianida tersebut dialirkan ke dalam unit elektrodeionisasi, dimana di dalam unit tersebut terdapat resin penukar ion dan membran. Sianida yang terdapat pada limbah akan terikat oleh resin. Oleh karena beda potensial yang diberikan ke dalam sistem elektrodeionisasi, maka sianida yang telah terikat oleh resin akan bergerak menuju elektroda melalui membran, sehingga limbah yang keluar dari resin sudah tidak mengandung ion sianida. Limbah yang telah terbebas dari sianida dapat di buang ke lingkungan, sedangkan sianida yang terpisah tadi dapat digunakan kembali ke dalam proses. Dengan begitu, metoda elektrodeionisasi lebih menguntungkan dari pada metoda klorinasi maupun penukar ion.

2. Elektrodeionisasi

Elektrodeionisasi adalah kombinasi antara *ion exchange* dan elektrodialisis, proses ini dikembangkan terutama untuk memperbaiki kinerja *ion exchange* dan elektrodialisis. Proses *ion exchange* merupakan proses yang sangat sederhana tetapi proses ini hanya dapat memberikan persen penyisihan

yang tinggi untuk konsentrasi umpan yang rendah. Ion exchange juga mempunyai kapasitas pertukaran ion yang terbatas, sehingga resin tersebut harus diregenerasi secara periodik. Proses regenerasi ini memerlukan tambahan senyawa kimia yang akan menyebabkan permasalahan terhadap lingkungan. Proses elektrodialisis merupakan proses pemisahan ion yang baik untuk konsentrasi yang relatif tinggi, tetapi pada proses elektrodialisis ini dapat menyebabkan polarisasi konsentrasi, terutama pada ruang diluat yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air[13].

Elektrodeionisasi terdiri atas membran penukar ion (membran penukar kation dan anion), resin penukar ion (resin penukar kation dan anion), sepasang elektroda (anoda dan katoda) dengan *driving force* berupa sumber arus listrik searah (DC) (gambar 1). Satu sel elektrodeionisasi terdiri atas satu ruang penukar ion, membran (penukar kation dan penukar anion), dan sekat pemisah (*spacer*). Di dalam unit elektrodeionisasi ini, membran penukar kation dan membran penukar anion disusun secara berselang-seling, di antara anoda dan katoda. Resin penukar ion (penukar kation dan penukar anion) disusun pada sebuah ruang berbentuk persegi panjang yang terletak diantara lapisan – lapisan membran penukar ion. Wadah ini sering disebut sebagai *diluate chamber* atau *D-Chamber*. Diantara dua *D-Chamber* terdapat ruang pemisah yang disebut sebagai *concentrate chamber* atau *C-Chamber*.

Umpan yang masuk ke dalam unit ini dibagi menjadi tiga bagian. Sebagian kecil dilewatkan melalui elektroda. Sebagian besar dilewatkan melalui resin, sedangkan sisanya masuk ke ruang antar membran yang dikosongkan. Pergerakan ion pada elektrodeionisasi ini disebabkan oleh dua faktor. Pertama, resin penukar ion, yang bertindak sebagai jembatan ion dan membran penukar ion yang bertindak untuk mencegah kembalinya ion yang telah terpisah. Faktor kedua adalah beda potensial antara anoda dan katoda. Resin penukar ion akan menangkap ion-ion yang terlarut dalam umpan. Air, sebagai pelarutnya, akan dibiarkan lewat. Ion-ion yang tertangkap oleh resin selanjutnya akan dipompa keluar, melewati membran penukar ion, sebagai akibat beda potensial yang diberikan pada sel. Karena setiap ruangan dibatasi oleh membran penukar ion, maka ion – ion akan berpindah dari satu ruang ke ruang yang lain searah dengan elektroda (anoda akan menarik anion dan katoda akan menarik kation), pergerakan ion – ion tersebut akan memasuki ruang *C – Chamber*, tetapi tidak akan berpindah lebih jauh lagi karena tertahan oleh membran penukar ion yang memiliki muatan yang sama dengan muatan ion tersebut, sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi ion yang tinggi (kaya dengan ion) pada ruang konsentrat dan larutan dengan konsentrasi ion yang rendah pada ruang diluat[13].

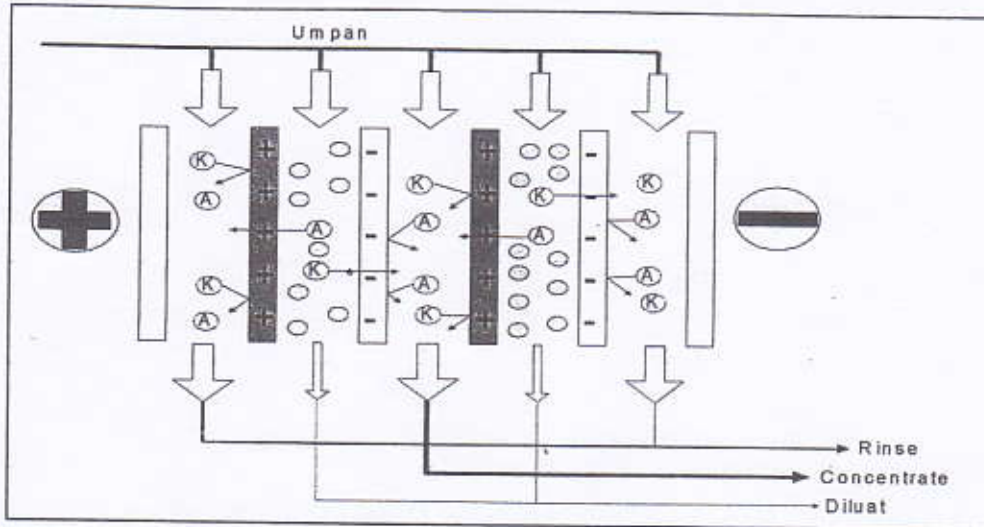
Dalam proses ini, resin berperan dalam demineralisasi awal larutan umpan. Dalam bentuk campuran (*mixed bed*) resin juga berfungsi untuk menjaga pH larutan agar tetap netral. Adapun membran penukar ion dalam proses ini berfungsi sebagai keran kontrol untuk mencegah ion-ion untuk mengotori kembali air yang telah dimurnikan. Setelah melewati tahap awal, resin berperan sebagai jembatan ion dalam proses elektrolisis di permukaan elektroda. Selain itu, resin yang mempunyai sifat elektrolit yang lebih besar daripada air akan meningkatkan konduktivitas ruangan antar membran sehingga ion lebih mudah mengalir dan berdifusi melalui membran[13].

Hal yang membedakan proses elektrodeionisasi (EDI) dengan proses deionisasi (DI) secara konvensional terletak pada metoda yang digunakan untuk meregenerasi resin. Dalam EDI proses regenerasi dicapai dengan menggunakan arus listrik searah (DC), dimana air akan dipecah oleh arus listrik menjadi ion H^+ dan OH^- yang digunakan untuk meregenerasi resin. Proses yang terjadi ini disebut sebagai *water splitting*, dimana pada sisa larutan masih mengandung ion – ion yang dapat menghantarkan arus listrik untuk melakukan *water splitting*. Selain itu proses regenerasi juga dilakukan dengan menarik ion – ion yang terikat pada butiran resin dengan arus listrik.

Beberapa keuntungan menggunakan elektrodeionisasi dibandingkan dengan proses pemurnian air lainnya, antara lain proses ini tidak memerlukan bahan kimia apapun untuk meregenerasi resin, dan proses regenerasi resin dapat berlangsung secara kontinu. Selain itu proses elektrodeionisasi juga mampu menghasilkan produk (*ultrapure water*) yang memiliki kemurnian yang tinggi.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian telah dilakukan dengan menggunakan satu unit elektrodeionisasi, yang terdiri dari lima buah kompartemen, dua buah kompartemen rinse, satu buah kompartemen konsentrat, dan dua buah kompartemen diluat yang telah diisi dengan *mixed bed* resin penukar ion. Membran yang digunakan sebesar $0,0154 m^2$. Ketebalan spacer yang menunjukkan jarak antara membran adalah 3 mm. Pompa rinse, konsentrat, dan umpan yang digunakan adalah pompa diaphragma dengan kapasitas 60 liter/jam. Dua buah elektroda (anoda dan katoda) yang digunakan dalam unit elektrodeionisasi ini terbuat dari stainless steel yang dihubungkan dengan *external power supply*.

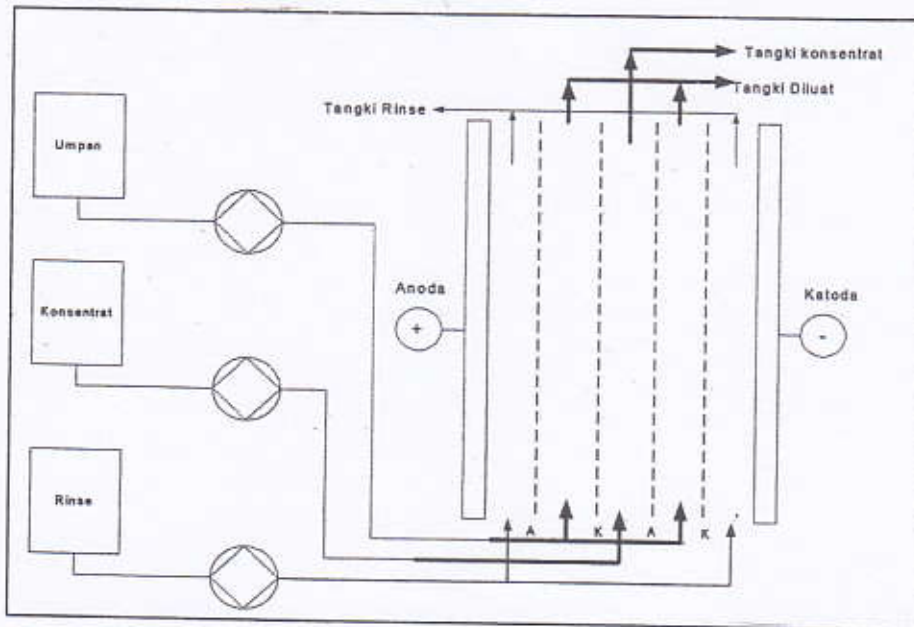


Gambar 1. Susunan elektrodeionisasi

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh kondisi optimum untuk menurunkan kadar sianida yang terdapat pada limbah. Kondisi optimum tersebut meliputi laju alir dan beda potensial yang memberikan persen penyisihan terbesar.

Untuk memperoleh laju alir optimum, maka penelitian dilakukan dengan memvariasikan laju alir dengan konsentrasi umpan dan beda potensial yang konstan. Sedangkan untuk memperoleh beda potensial yang optimum, maka penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan beda potensial dengan laju alir umpan dan konsentrasi umpan yang konstan. Beda potensial yang akan digunakan dari 0 – 60.

Konsentrasi ion yang dapat diturunkan pada kompartemen diluat dianalisa dengan menggunakan HACH konduktivimeter.



Gambar 2. Flowsheet elektrodeionisasi secara kontinyu

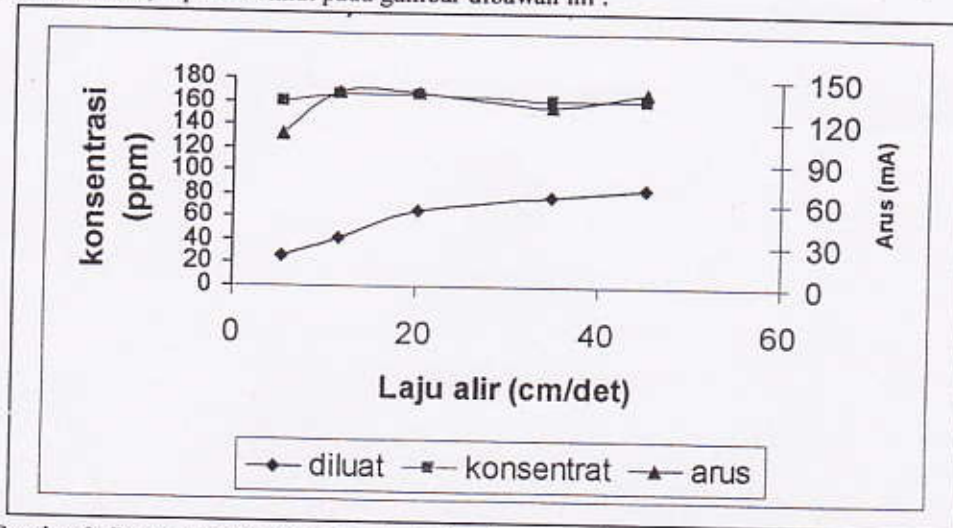
4. Hasil dan Pembahasan

1. Penentuan Laju Alir Optimum

Pada proses elektrodeionisasi penentuan laju alir optimum merupakan hal yang sangat penting, karena pada laju alir optimum akan memberikan persen penyisihan yang tinggi pada kompartemen diluat. Pada proses elektrodeionisasi terdapat resin penukar ion pada kolom diluat, dengan adanya resin ini menyebabkan *pressure drop* pada kolom ini sangat besar. Dengan adanya *pressure drop* ini, maka laju alir yang digunakan pada proses elektrodeionisasi ini harus dapat memberikan persen penyisihan yang paling besar. Jika laju umpan sangat rendah, maka volume limbah sianida yang akan diolah (pada selang waktu

tertentu) relatif sedikit sehingga jumlah ion yang dapat dipindahkan menjadi sedikit, hal ini menyebabkan persen penyisihan menjadi kecil, tapi jika laju umpan sangat besar, akan menyebabkan pergerakan dari resin. Pergerakan resin ini menyebabkan waktu kontak antara resin dan larutan sianida akan semakin kecil. Waktu kontak yang kecil menyebabkan persen penyisihan sianida akan semakin kecil, sehingga penentuan laju alir optimum ini sangat penting. Penentuan laju alir optimum ini dilakukan pada konsentrasi sianida 94,0583 ppm dan beda potensial 40 volt.

Kapasitas minimal pompa yang digunakan untuk mengalirkan larutan umpan adalah 5,5206 cm/det. Karena keterbatasan kapasitas pompa, maka penentuan laju alir optimum ini tidak dapat dilakukan pada laju alir di bawah 5,5206 cm/det. Oleh karena itu, penentuan laju alir optimum ini dilakukan pada laju alir di atas 5,5206 cm/det, seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3. Pengaruh laju alir umpan terhadap kuar arus, konsentrasi diluat, dan konsentrasi konsentrat.

Pada gambar 3 terlihat bahwa semakin besar laju alir, konsentrasi konsentrat relatif konstan, sedangkan konsentrasi diluat cenderung naik. Berdasarkan gambar tersebut, diperoleh laju alir optimum sebesar 5,5206 cm/det. Pada laju alir ini konsentrasi diluat yang diperoleh sebesar 25,6996 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa persen penyisihan sianida pada kompartemen diluat lebih tinggi dari pada laju alir yang lainnya, yaitu sebesar 72,7 %.

2. Penentuan Arus Limit

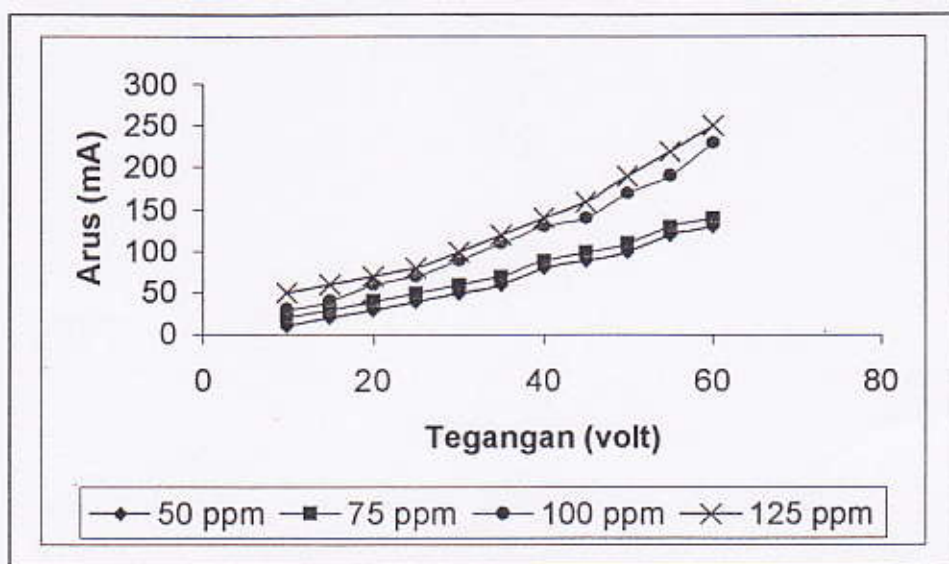
Pada penelitian ini, arus limit dapat ditentukan dengan cara memplotkan arus terhadap beda potensial. Secara teori kurva yang diperoleh terbagi dalam tiga region. Region I merupakan daerah Ohmik. Region II ditunjukkan dengan naiknya tahanan dari proses. Region ini menunjukkan arus limit dari sistem. Region III menunjukkan terjadinya disosiasi air.

Pada gambar 4 dibawah ini, dapat dilihat bahwa sampai tegangan maksimum (60 volt) arus limit belum terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang 0 – 60 volt operasi masih berada pada daerah ohmik, dimana semakin tinggi tegangan, arus yang dihasilkan akan semakin besar. Jadi dapat dikatakan bahwa lapisan batas pada permukaan membran masih mempunyai ion yang cukup sehingga polarisasi konsentrasi tidak terjadi.

Pada tegangan yang sama, kuat arus yang dihasilkan akan semakin besar jika konsentrasi umpan semakin besar. Ketika konsentrasi umpan meningkat, maka jumlah ion dalam kompartemen akan semakin banyak sehingga arus yang dihasilkan akan semakin besar. Tingginya kuat arus menunjukkan bahwa tahanan listrik sistem akan semakin kecil jika konsentrasi umpan semakin besar. Hal ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hambatan total system pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Hambatan (Ohm)
50	604,0793
75	472,7853
100	320,3551
125	269,0912



Gambar 4. Pengaruh beda potensial terhadap kuat arus

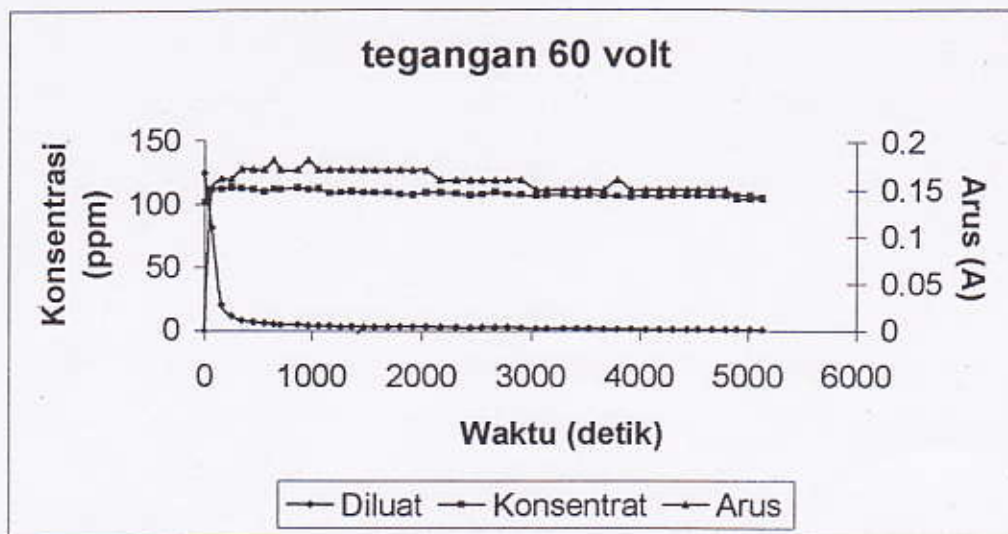
3. Penentuan Tegangan Optimum pada berbagai konsentrasi

Energi yang digunakan untuk proses elektrodeionisasi meliputi energi listrik untuk *transport ion* dalam membran dan energi untuk memompa / mengalirkan umpan ke dalam membran. Untuk mengoptimalkan jalannya proses, maka energi yang digunakan harus optimal. Pada Tabel 2 di bawah ini terlihat bahwa untuk keempat konsentrasi, tegangan optimum yang dapat digunakan adalah 60 volt. Pada tegangan ini diperoleh persen penyisihan sianida pada ruang diluat yang terbesar. Semakin tinggi tegangan, maka arus yang mengalir juga akan semakin besar, hal ini sesuai dengan hukum Ohm yang menyatakan bahwa nilai tegangan berbanding lurus dengan besarnya kuat arus ($V=I.R$), dan besarnya kuat arus sangat mempengaruhi persen penyisihan sianida pada diluat, sehingga jika tegangan diperbesar, maka persen penyisihan diluat akan menjadi lebih besar.

Tabel 2. Hubungan konsentrasi umpan dan tegangan listrik

Tegangan (volt)	50 ppm		75 ppm		100 ppm		125 ppm	
	% penyisihan	Arus (A)	% penyisihan	Arus (A)	% penyisihan	Arus (A)	% penyisihan	Arus (A)
10	11.0857	0.0100	20.0000	0.0200	27.1429	0.0248	36.7442	0.0296
20	55.0857	0.0296	55.2308	0.0498	55.1143	0.0493	62.9535	0.0604
30	75.0857	0.0526	78.6923	0.0798	90.4857	0.0798	96.7907	0.0960
40	86.2857	0.0794	86.3077	0.1184	90.8571	0.1013	98.8605	0.1259
50	96.8000	0.1080	98.7692	0.1548	99.4000	0.1179	99.0233	0.1574
60	98.2857	0.1305	98.7692	0.2762	99.4286	0.1447	99.1860	0.1574

Pada gambar di bawah ini dapat dilihat bahwa pada awal operasi nilai kuat arus yang diperoleh akan meningkat, hal ini menunjukkan bahwa tahanan sistem berkurang. Setelah itu diperoleh nilai arus yang cenderung konstan untuk waktu yang cukup lama, hal ini disebabkan oleh adanya resin penukar ion pada ruang diluat, dimana resin ini berfungsi sebagai jembatan ion dan menjaga konduktivitas listrik pada ruang diluat.



Gambar 4. Profil konsentrasi diluat, konsentrat, dan arus terhadap waktu

5. Kesimpulan

Penurunan kadar sianida telah dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan unit elektrodeionisasi. Proses ini telah membuktikan bahwa proses elektrodeionisasi dapat digunakan sebagai proses alternatif untuk menurunkan kadar sianida. Dari penelitian ini diperoleh bahwa laju alir dan beda potensial terbaik yang dapat memberikan persen penyisihan terbesar, yaitu 99% adalah 0,5206 cm/detik dan 60 volt.

6. Daftar Pustaka

- [1] APHA, AWWA, WPCF, "Standard Method for the Examination of Water and Waste Water", 12th ed., 1965
- [2] Flett, D. S. B. Sc. Ph. D., "Ion Exchange Membranes", Ellis Horwood Limited, 1983.
- [3] Journal of Membrane Science, "Recovery by Electrodialysis of Cyanide Electroplating Rinse Water", vol 68, 1992.
- [4] Keith Scott, "Handbook of Industrial Membranes, 1st ed., Elsevier Advances Technology, 1995.
- [5] Kneller, Mills., US Patent No. [5322934], "Purification of Crude MRI Agents Using Continuous Deionization", 1994.
- [6] Lembaga Metalurgi Nasional, LIPI, "Kumpulan Makalah Diktat Pencemaran Pada Industri Metalurgi dan Proses", Jan 1983.
- [7] Mulder, M., "Basic Principles of Membrane Technology", 2nd ed., Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1996.
- [8] Rautenbach, R., Albrecht, R., "Membran Processes", John Wiley & Sons Ltd., U.K., 1989.
- [9] Ronald W, Rousseou, "Handbook of Separation Process Technology", Georgia, Institute of Technology, 1987.
- [10] Sumihar H.D.S, Wenten I.G., "Teknologi Membran untuk Pengolahan Air dan Limbah Industri", Jurusan Teknik Kimia ITB.
- [11] Sutanto, H., Sulistyakusuma, D., Kartikasari, R., "An Opportunity of Membrane Technology Application in Milk Industry", Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2002.
- [12] www.Atsdr.cdc.gov, "Toxicological Profile for Cyanide", 1997.
- [13] www.uspto.com, "Removal of Nickel Ions from Galvanic Wastewater Streams Using a Hybrid Ion Exchange-Electrodialysis Systems".