

Pemisahan Kromium dan Nikel dari Limbah Cair Elektroplating dengan Proses Ultrafiltrasi

Disusun Oleh :

Mario Hendro K. dan Ratih Sulastiningrum

Dosen Pembimbing : Dr. I Nyoman Widiasta, ST, MT

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Kampus Tembalang-Semarang 50239

Abstrak

Industri pelapisan logam merupakan penghasil limbah logam berat. Proses hard chrome menghasilkan limbah krom konsentrasi tinggi dalam jumlah besar. Limbah cair dari suatu industri kecil pelapisan logam yang diteliti mengandung 311,09 mg/l Cr dan 2,17 mg/l Ni. Kromium dan nikel merupakan logam yang berbahaya, mempunyai kadar racun yang tinggi dan bersifat karsinogenik penyebab kanker. Dilakukan upaya pemisahan kromium dan nikel dari limbah cair dengan cara ultrafiltrasi. Operasi pemisahan dilakukan secara batch pada suhu kamar. Pengaruh tekanan operasi dan volume umpan terhadap laju alir permeat, TDS permeat, dan turbiditas (NTU) akan dipelajari dalam penelitian ini, ultrafiltrasi telah diobservasi sebagai proses yang sangat efektif dalam pemisahan kromium dan nikel. Dari penelitian dapat diketahui bahwa terjadi perubahan laju alir permeat UF pada berbagai tekanan dan terjadi perubahan turbiditas (NTU) dalam permeat UF. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kemampuan rejeksi membran ultrafiltrasi dari total konsentrasi kromium sebesar 99% dan nikel sebesar 98%. Selain itu kemampuan rejeksi dari membran ultrafiltrasi terhadap konsentrasi COD sebesar 98%.

Kata kunci : Elektroplating, kromium, nikel, ultrafiltrasi.

Abstract

Metal plating industries generate large amount of wastewater containing heavy metals. Hard chrome process generates large amount of wastewater with high concentration of chrome. Wastewater from observed metal plating home industry contained 311,0914 mg/l Cr and 2,17 mg/l Ni. Chromium and nickel is dangerous metal, has high poison grade and have the character of carcinogenic of cancer cause. An experiment was conducted to separate the chromium and nickel from wastewater with ultrafiltration. Operation to separate of chromium and nickel was done in batch at room temperature. The influence of feed operating pressure and volume to flow rate of permeat, TDS from permeat, and turbidity (NTU) will be studied in this research, ultrafiltration has been observation is a effective process in separate of chromium and nickel. From knowable research that happened transformation of flow rate permeat UF at various dividing valves and happened transformation of turbidity (NTU) in permeat UF. At this research can be concluded that performance rejection of ultrafiltration membrane for reducing chromium is 99% and nickel is 98%. And performance rejection of ultrafiltration membrane for reducing concentration COD is 98%.

Keyword : Electroplating, chromium, nickel, ultrafiltration.

Pendahuluan

Kehidupan masyarakat modern tidak bisa terlepas dari benda-benda yang dibuat dengan proses elektroplating [1]. Seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi dan berkembangnya kegiatan industri, kegiatan elektroplating selain menghasilkan produk yang berguna, juga menghasilkan limbah padat dan cair serta emisi gas. Limbah padat berasal dari kegiatan *polishing* maupun penghilangan karat, limbah cair berupa air limbah berasal dari pencucian, pembersihan dan proses plating. Limbah cair dapat pula mengandung padatan, juga mengandung logam-logam terlarut dan senyawa-senyawa berbahaya lainnya [2]. Agar tidak mencemari lingkungan, limbah yang akan dibuang kadar logamnya tidak boleh melewati batas kadar maksimum yang diperbolehkan oleh regulasi pemerintah (PP-18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun). Kadar maksimum kromium dalam limbah industri yang diperbolehkan adalah 0,25 mg/l [3], sedangkan kadar maksimum nikel dalam limbah yang diperbolehkan adalah 1,0 mg/l seperti yang ditampilkan pada Tabel 1 [4].

Tabel 1. Kep-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri Elektroplating

Parameter	Kadar Maksimum (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (mg/l)
TSS	20	0,40
Sianida total (CN) tersisa	0,2	0,004
Krom total (Cr)	0,5	0,010
Krom heksavalen (Cr ⁶⁺)	0,1	0,002
Tembaga (Cu)	0,6	0,012
Seng (Zn)	1,0	0,020
Nikel (Ni)	1,0	0,020
Kadmium (Cd)	0,05	0,001
Timbal (Pb)	0,1	0,002
pH		6,0 – 9,0
Debit limbah maksimum	20 L/m ² produk pelapisan logam	

Elektroplating merupakan suatu proses elektrokimia terhadap perlakuan permukaan suatu logam. Logam-logam yang biasa digunakan untuk pelapis yaitu cadmium, tembaga, emas, nikel, perak, dan logam-logam sejenis [5]. Elektroplating atau lapis listrik atau penyepuhan merupakan salah satu proses pelapisan bahan padat dengan lapisan logam menggunakan bantuan arus listrik melalui suatu elektrolit. Benda yang dilakukan pelapisan harus merupakan konduktor atau dapat menghantarkan arus listrik [1]. Proses ini melibatkan perlakuan pendahuluan (pencucian, pembersihan, dan langkah-langkah persiapan lain), pelapisan, pembilasan, dan pengeringan [6]. Air yang berasal dari pencucian, pembersihan dan proses plating menjadi air limbah karena mengandung logam-logam terlarut dan senyawa-senyawa berbahaya lainnya [1]. Penelitian untuk mengolah limbah elektroplating yang telah dilakukan diantaranya presipitasi bertahap logam berat limbah cair industri pelapisan logam menggunakan larutan kaustik soda diperoleh rejeksi 98,04% dengan konsentrasi sisa Cr pada larutan sebesar 1560 mg/l [2], presipitasi logam berat limbah elektroplating dengan ferro sulfat diperoleh rejeksi sebesar 90% dengan konsentrasi sisa Cr sebesar 2 mg/l [7], dan pengurangan ion-ion Cu (II), Ni (II) dan Cr(III) dari limbah cair menggunakan proses kompleksasi - teknik ultrafiltrasi didapat rejeksi sebesar 99,1% dan konsentrasi sisa Cr sebesar 10 mg/l [8]. Berdasarkan uraian tersebut, maka dalam penelitian ini digunakan alternatif kombinasi proses reduksi dan ultrafiltrasi untuk penurunan kadar kromium dan nikel dari limbah cair elektroplating.

Ultrafiltrasi adalah proses membran yang sifatnya berada di antara mikrofiltrasi dan nanofiltrasi. Ukuran pori membran yang digunakan berkisar antara 0,05 µm (pada sisi mikrofiltrasi) hingga 1 nm (pada sisi nanofiltrasi). Semua garam terlarut dan molekul yang lebih kecil akan melewati membran, sedangkan koloid, protein, kontaminan mikrobiologi, molekul organik berukuran besar akan tertahan [9]. Berbeda dengan filtrasi konvensional, UF bekerja dengan model cross-flow yaitu aliran umpan mengalir paralel terhadap membran filtrasi. Ada dua produk dari UF yaitu permeat, yang mengandung komponen yang kecil yang sanggup melewati membran, dan retentat yang mengandung endapan [9].

Metode Penelitian

Bahan

Umpan asli yang digunakan adalah 5 L limbah cair elektroplating yang mengandung Cr dan Ni. Karakteristik limbah yang digunakan untuk penelitian ini ditampilkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil analisa kualitas limbah cair elektroplating menggambarkan bahwa pH, kadar maksimum kromium, dan kadar maksimum nikel melebihi ambang batas yang ditetapkan seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Larutan HCl dan NaOH digunakan untuk pengasaman dan penetralan. Tahap reduksi menggunakan larutan sodium bisulfite (NaHSO₃).

Tabel 2. Karakterisasi Limbah Elektroplating

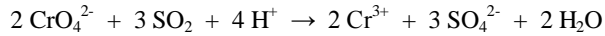
Sifat	Nilai
pH	2,0
Cr, ppm	311,09
Ni, ppm	2,17
TDS, ppm	306
COD, ppm	777,54
Warna	Kuning tua

Prosedur Kerja

Penyisihan kromium dan nikel dari limbah elektroplating melalui 3 tahap, yaitu :

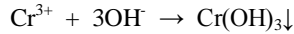
- Tahap reduksi (tahap 1).

Tahap reduksi dapat berlangsung pada kisaran pH 2 - 3 dengan penambahan larutan HCl. Larutan yang digunakan untuk mereduksi ion Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} adalah sodium bisulfite (NaHSO_3) menurut reaksi berikut :



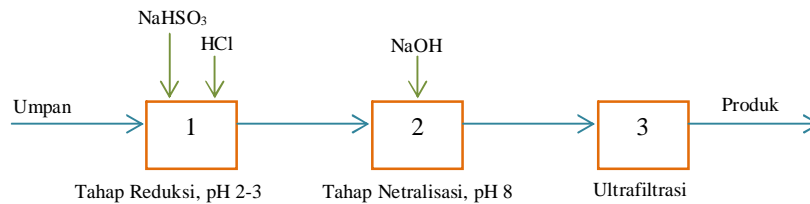
- Tahap penetralan (tahap 2).

Tahap penetralan dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH sampai pH 8 untuk menghasilkan endapan kromium (III) hidroksida $\text{Cr}(\text{OH})_3$.



- Tahap ultrafiltrasi (tahap 3).

Larutan hasil penetralan merupakan umpan membran ultrafiltrasi. Penelitian dilakukan pada variasi tekanan 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 kg/cm^2 . Operasi ultrafiltrasi dilakukan dengan mengembalikan aliran konsentrat ke dalam umpan. Setiap penambahan recovery 10 % dilakukan pengukuran laju alir permeat, TDS, analisa turbiditas dan COD.



Gambar 1. Skema Tahapan Penelitian

Analisa

Analisa laboratorium yang diberikan pada akhir proses adalah sebagai berikut :

- Turbiditas
Pengukuran turbiditas (tingkat kekeruhan) dilakukan dengan menggunakan Portable Turbidimeter Orbeco-Hellige Infrared.
- Konsentrasi kromium
Konsentrasi kromium dalam sampel dianalisa dengan menggunakan AAS.
- Chemical Oxygen Demand (COD)
COD digunakan sebagai pengukuran oksigen yang ekuivalen dengan kandungan organik dari sampel yang rentan terhadap oksidasi oleh oksidan kimia kuat. Metode yang digunakan dalam analisa ini adalah Standard Methode.

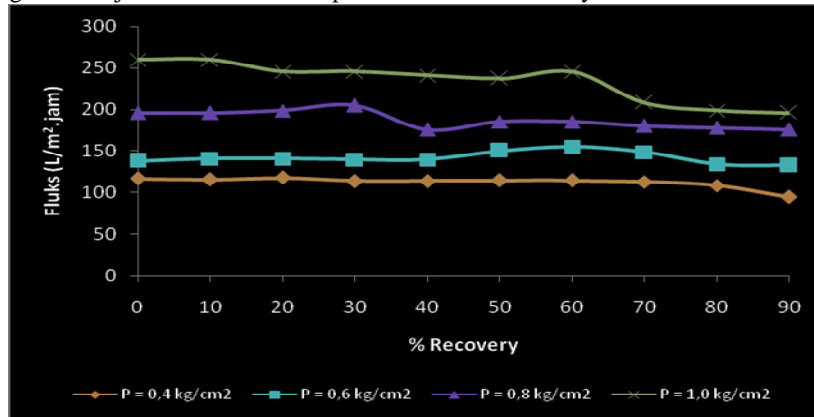


Gambar 2. Foto Unit UF

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Tekanan Operasi dan Recovery Factor Terhadap Laju Alir Permeat UF

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpalkan limbah elektroplating dari tahap 2 menuju membran ultrafiltrasi. Pengukuran laju alir dilakukan setiap kenaikan 10 % recovery.

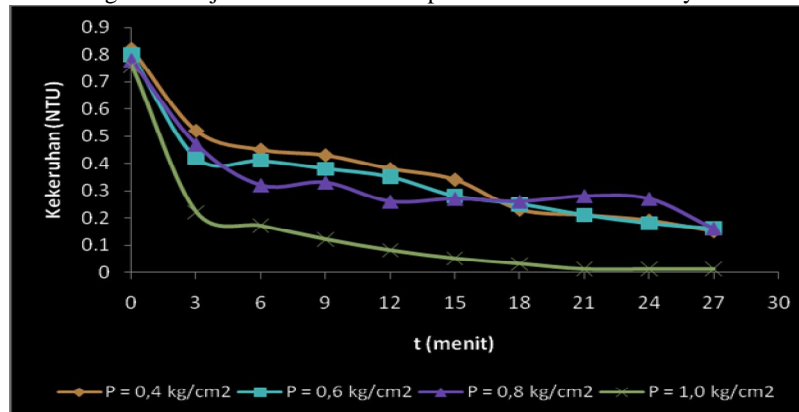


Gambar 3. Pengaruh tekanan operasi dan recovery factor terhadap laju alir permeat UF (kondisi awal umpan UF: pH 8, T = 27°C, fluks pada P = 0,4 kg/cm² yaitu 115,34 l/m².jam, fluks pada P = 0,6 kg/cm² yaitu 137,74 l/m².jam, fluks pada P = 0,8 kg/cm² yaitu 195,65 l/m².jam, fluks pada P = 1,0 kg/cm² yaitu 259,66 l/m².jam)

Dari gambar 3 terlihat bahwa pada % recovery yang sama laju alir permeat menurun untuk setiap variabel tekanan operasi. Laju alir permeat tekanan 0,4 kg/cm² lebih rendah dibandingkan laju alir permeat tekanan 0,6 kg/cm². Tekanan yang lebih tinggi menyebabkan suatu larutan mempunyai kemampuan yang lebih untuk melewati membran sebagai permeat, sehingga laju alir permeat juga semakin besar, hal ini juga terjadi pada operasi ultrafiltrasi pada tekanan 0,8 kg/cm² dan 1,0 kg/cm². Adanya daya dorong tekanan menyebabkan larutan mempunyai kemampuan melewati membran sebagai permeat, sedangkan molekul atau partikel lain yang terkandung dalam larutan tertahan dalam membran dan keluar sebagai konsentrat [9]. Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu akibat adanya polarisasi konsentrasi, *fouling*, dan *scaling* [10]. *Fouling* biasanya disebabkan oleh adanya pengendapan oksida logam, material koloid, pertumbuhan biologis oleh bakteri maupun mikroorganisme. Sedangkan *scaling* biasanya terjadi akibat pelekatan material seperti CaSO₄; CaCO₃; BaSO₄; SrSO₄; Mg(OH)₂; dan lain-lain. Terjadinya *fouling* diawali dengan adanya polarisasi konsentrasi yaitu peningkatan konsentrasi lokal dari suatu solut pada permukaan membran, sehingga material terlarut berkumpul membentuk lapisan gel yang semakin lama menebal. Pada polarisasi konsentrasi ini, fluks mengalami penurunan karena adanya peningkatan pada tahapan hidrodinamik pada lapisan batas dan kenaikan tekanan osmotik total [11].

Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Kekeruhan Permeat UF

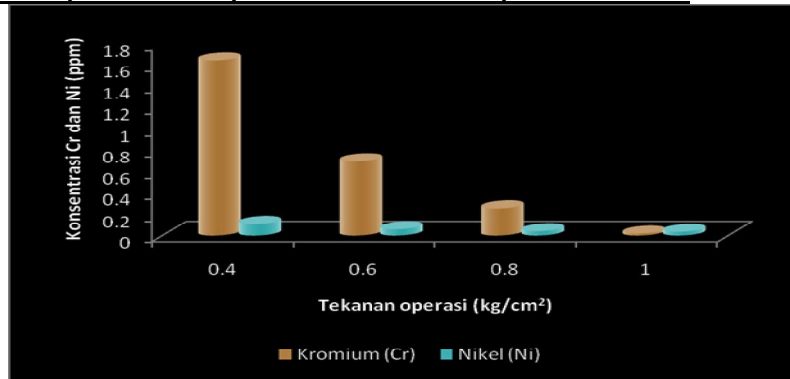
Penelitian ini dilakukan dengan mengumpalkan limbah elektroplating dari tahap netralisasi menuju membran ultrafiltrasi. Pengukuran laju alir dilakukan setiap kenaikan 10 % recovery.



Gambar 4. Pengaruh tekanan operasi terhadap kekeruhan permeat UF (kondisi awal umpan UF: pH 8, T = 27°C, kekeruhan pada P = 0,4 kg/cm² yaitu 0,82 NTU, kekeruhan pada P = 0,6 kg/cm² yaitu 0,8 NTU, kekeruhan pada P = 0,8 kg/cm² yaitu 0,78 NTU dan kekeruhan pada P = 1,0 kg/cm² adalah 0,76 NTU)

Pada gambar 4 sepanjang waktu operasi dapat dilihat bahwa tingkat kekeruhan dari hasil operasi cenderung menurun. Kekeruhan pada permeat yang dihasilkan pada tekanan 0,4 kg/cm² setelah waktu operasi 3 menit mencapai 0,52 NTU dan setelah 27 menit kekeruhan mencapai 0,15 NTU. Pada tekanan 0,6 kg/cm² kekeruhan pada 3 menit pertama mencapai 0,42 NTU dan setelah 27 menit kekeruhan mencapai 0,16 NTU. Pada tekanan 0,8 kg/cm² kekeruhan dari 0,47 NTU mencapai 0,16 NTU. Sedangkan pada tekanan 1,0 kg/cm² kekeruhan pada 3 menit pertama 0,22 NTU dan pada akhir operasi mencapai 0,01 NTU. Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi tekanan maka nilai kekeruhan yang diperoleh semakin rendah, hal ini dikarenakan adanya *fouling* [10]. *Fouling* biasanya disebabkan oleh adanya pengendapan oksida logam, material koloid, pertumbuhan biologis oleh bakteri maupun mikroorganismenya. Terjadinya *fouling* diawali dengan adanya polarisasi konsentrasi yaitu peningkatan konsentrasi lokal dari suatu solut pada permukaan membran, sehingga material terlarut berkumpul membentuk lapisan gel yang semakin lama menebal [11], sehingga semakin tinggi tekanan maka semakin cepat terbentuk *fouling* maka partikel-partikel yang berukuran besar akan lebih banyak tertahan di permukaan membran sehingga diperoleh hasil permeat dengan tingkat kekeruhan yang rendah.

Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Konsentrasi Cr dan Ni pada Permeat UF

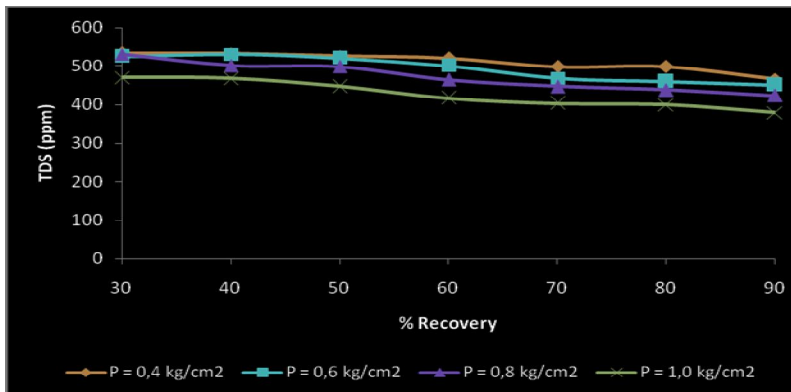


Gambar 5. Pengaruh tekanan operasi terhadap konsentrasi Cr dan Ni pada permeat UF (kondisi awal umpan UF: pH 8, T = 27°C, konsentrasi Cr 48,94 ppm, dan konsentrasi Ni 2,25 ppm)

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa konsentrasi Cr dan Ni menurun. Konsentrasi Cr dan Ni sebelum operasi adalah 48,94 ppm dan 2,25 ppm. Konsentrasi Cr dan Ni pada permeat yang dihasilkan pada tekanan 0,4 kg/cm² adalah 1,64 ppm dan 0,11 ppm. Pada tekanan 0,6 kg/cm² dihasilkan konsentrasi Cr dan Ni adalah 0,69 ppm dan 0,06 ppm. Pada tekanan 0,8 kg/cm² dihasilkan konsentrasi Cr dan Ni adalah 0,25 ppm dan 0,04 ppm. Serta pada tekanan 1,0 kg/cm² dihasilkan konsentrasi Cr dan Ni sebesar 0,02 ppm dan 0,03 ppm. Nilai konsentrasi dari permeat ini memenuhi baku mutu yang diperbolehkan yaitu untuk Cr, konsentrasi maksimum sebesar 0,25 mg/l dan untuk Ni, konsentrasi maksimum sebesar 1,0 mg/l.

Pengaruh Tekanan Operasi dan Recovery Factor Terhadap TDS Permeat UF

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpalkan limbah elektroplating dari tahap netralisasi menuju membran ultrafiltrasi pada berbagai tekanan. Pengukuran TDS permeat UF dilakukan setiap kenaikan 10 % recovery.



Gambar 6. Pengaruh tekanan operasi dan recovery factor terhadap TDS permeat UF (kondisi umpan UF pada recovery 30 % : pH 8, T = 27°C, TDS pada P = 0,4 kg/cm² yaitu 533 ppm, TDS pada P = 0,6 kg/cm² yaitu 524 ppm, TDS pada P = 0,8 kg/cm² yaitu 530 ppm, dan TDS pada P = 1,0 kg/cm² yaitu 469 ppm)

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa TDS dari hasil operasi cenderung konstan untuk setiap variabel tekanan operasi. Hal ini dikarenakan dalam umpan UF, TDS terdiri dari kation-kation (seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) dan anion-anion (seperti CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) sehingga tidak dapat disaring oleh membran UF sehingga hasil percobaan yang telah dilakukan TDS yang diperoleh cenderung konstan.

Penvisihan COD

Pada operasi ultrafiltrasi, konsentrasi COD permeat UF dari limbah diperoleh hasil 17,28 ppm, dimana pada awalnya konsentrasi COD dari limbah sebesar 777,54 ppm. Hal ini disebabkan karena pada umpan UF terdapat padatan tersuspensi sehingga terjadi penahanan makromolekul pada membran yang menyebabkan deposisi partikel pada membran dapat terbentuk. Deposisi partikel pada permukaan membran akan membentuk lapisan gel dan secara tidak langsung memberikan efek penyaringan bagi umpan yang akan melewati membran, sehingga sejalan bertambahnya waktu kualitas permeat yang dihasilkan semakin baik [11].

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa membran ultrafiltrasi mempunyai kemampuan rejeksi terhadap endapan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ dan $\text{Ni}(\text{OH})_2$ sebesar 99% dan 98%. Sedangkan kemampuan rejeksi dari membran ultrafiltrasi terhadap konsentrasi COD sebesar 98%. Dari hasil diatas produk dari UF telah memenuhi syarat baku mutu limbah dari pemerintah sehingga aman untuk dibuang atau digunakan kembali sebagai air pencuci.

Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Membran ultrafiltrasi mempunyai prospek yang baik untuk digunakan sebagai unit pengolahan limbah cair elektroplating.
2. Rejeksi konsentrasi Cr dan Ni pada operasi membran untuk umpan limbah cair elektroplating dengan pretreatment mencapai 99% dan 98% dan kemampuan rejeksi dari membran ultrafiltrasi terhadap konsentrasi COD sebesar 98%.
3. Kadar Cr yang dicapai setelah melalui proses ultrafiltrasi sudah memenuhi baku mutu limbah cair.
4. Kinerja membran ultrafiltrasi memberikan hasil yang cukup bagus, agar diperoleh hasil yang lebih baik, sebelum umpan masuk ke membran ultrafiltrasi perlu dilakukan pretreatment terlebih dahulu.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. I Nyoman Widiasa ST, MT, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan dan masukan dalam penelitian.

Daftar Pustaka

1. Purwanto dan Syamsul Huda, 2005, "*Teknologi Industri Elektroplating*", Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
2. Soemantojo, Roekmijati W, dkk., 2008, "*Presipitasi Bertahap Logam Berat Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan Larutan Kaustik Soda*", Jurnal, Universitas Indonesia, Jakarta.
3. Peraturan Pemerintah No.18 Tahun 1999.
4. _____, *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995.* <http://www.bapedal.go.id/kepmen>.
5. _____, "*Electroplating : A Focus on Chrome Plating*", Occupational Health Clinics for Ontario Workers Inc.
6. _____, "*Environmental Guidelines for Electroplating Industry*", Multilateral Guarantee Agency.
7. Li Yang Chang, Ph.D., 2001, "*Chrome Reduction and Heavy Metals Removal From Wastewater – A Pollution Prevention Approach*", WM'01 Conference, Tucson.
8. Barakat, M. A., 2008, "*Removal of Cu (II), and Cr (III) from Wastewater Using Complexation-Ultrafiltration Technique*", Twelfth International Water Technology Conference, Alexandria, Egypt.
9. Mulder, M, 1996, "*Basic Principle of Membrane Technology*", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
10. Notodarmojo, Suprihanto dan Anne Deniva, 2004, "*Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End*", PROC. ITB Sains dan Teknologi, Bandung.
11. Notodarmojo, Suprihanto, Dini Mayasanthi, dan Teuku Zulkarnain, 2004, "*Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak Dengan Proses Membran Ultrafiltrasi Dua-tahap Aliran Cross-flow*", PROC. ITB Sains dan Teknologi, Bandung.

12. _____, 2003, "*Electroplating Processes*", PWB Electroplating Solutions from Technic Inc.
13. Perry, R.H., 1984, "*Perry's Chemical Engineer's Handbook*" 7th edition, Mc Graw Hill Company.
14. _____, 1996, "*Total Dissolved Solid in Drinking Water*", World Helth Organization, Geneva.
15. Vogel, A, 1990, "*Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*", PT. Kalman Media Pustaka, Jakarta.