

PERCOBAAN AWAL PROSES ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI METODE ALTERNATIF PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR

Prayitno, Endro Kismolo

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb Yogyakarta 55281

Email : ptapb@batan.go.id

ABSTRAK

PERCOBAAN AWAL PROSES ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI METODE ALTERNATIF PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR. Telah dilakukan percobaan proses elektrokoagulasi untuk reduksi kadar Cr dalam limbah cair. Percobaan dilakukan untuk melengkapi data perancangan perangkat elektrokoagulator. Limbah yang digunakan memiliki kadar kontaminan Cr 22,00 mg/liter dan mengandung zat padat terlarut (TSS) sebesar 85,0 mg/liter. Percobaan dilakukan dengan metode aliran kontinu sebesar 0,5 liter /menit, pada kuat arus searah bervariasi dari 0,5 sampai dengan 2,5 Ampere dan waktu operasi efektif dari 60 menit sampai 120 menit. Analisis Cr dalam filtrat hasil akhir digunakan perangkat AAS, sedangkan analisis TSS dengan metode gravimetri. Dari percobaan diperoleh nilai efisiensi elektrokoagulasi kontaminan Cr sebesar 98,222 % dan TSS sebesar 85,327 % pada kuat arus 2,5 Ampere, waktu operasi 120 menit, yaitu memberikan nilai kadar Cr dalam efluen sebesar 0,383 mg/L dan nilai TSS sebesar 12,472 mg/L.

Kata kunci : Elektrokoagulasi, Cr, data

ABSTRACT

PRELIMINARY EXPERIMENT OF ELECTROCOAGULATION PROCESS FOR ALTERNATIVE MODEL ON THE TREATMENT OF LIQUID WASTE. The experiment of electrocoagulation process for reduction of Cr contain in the liquid waste has been done. The experiment was done for completing at design data of electrocoagulator utilities. Waste of contain of contaminant of Chromium are 22.00 mg/liters and contain of 85.0 ppm solid solution. The experiment was done using continue method at 1.5 liters/ minute, on the direct current varied from 0.5 to 2.5 Ampere and the operation time from 60 minutes to 120 minutes. Chromium contaminant in the filtrate of the last product was analyzed using AAS utilities, and for TSS analysed using gravimetry method. From the experiment can be obtained that efficiency electrocoagulation value for the contaminant of Cr are 98.222 % and TSS are 85.327 % at the current of 2.50 Ampere and time of process of 120 minutes, the value of Cr in the effluent is 0.383 mg/L and TSS value is 12.472 mg/L.

Key words : Electrocoagulation, Cr, data.

PENDAHULUAN

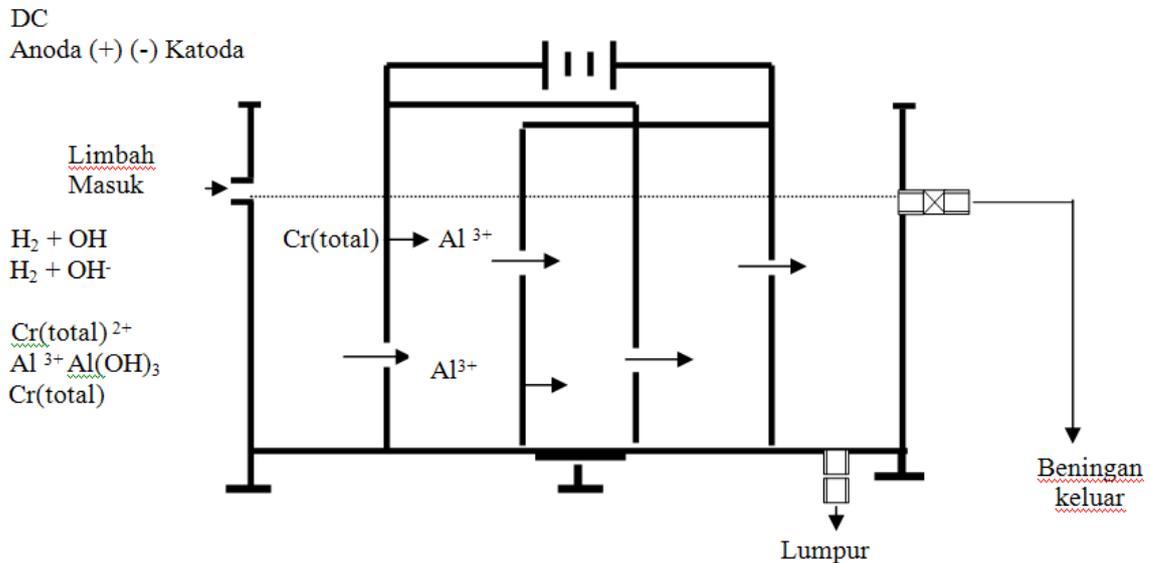
Globalisasi berkait dengan liberalisasi dan persaingan bebas yang berakhir pada tahun 2003 untuk AFTA dan 2020 untuk APEC secara menyeluruh, menuntut kebijaksanaan dan pelaksanaan pembangunan berkelanjutan merupakan unsur yang perlu diperhatikan dalam persaingan bebas, artinya pengusaha yang tidak memperhatikan lingkungan, produknya akan di tolak. Mekanisme untuk menjamin diterimanya produk dipasar dunia diantaranya pemenuhan persyaratan ISO 9000 (Standard Product), ISO 14000 (Standard Environmental) dan ekolabel yang menyertakan pernyataan pada produk dihasilkan dalam produksinya tidak merusak dan atau mencemarkan lingkungan. Untuk hal tersebut diatas penerapan teknologi bersih akrab lingkungan sebagai alternatif pemecahan dan merupakan peluang yang sangat besar bagi berhasilnya produk bersaing dipasar dunia. Pada perkembangannya

sekarang, pemakaian bahan kimia sebagai bahan utama atau bahan pembantu pada proses pengolahan limbah harus benar-benar dipertimbangkan karena beban pencemaran lingkungan semakin mengkhawatirkan. Penggunaan bahan kimia selektif hanya dianjurkan pada pengolahan limbah yang memiliki kadar kontaminan logam berat cukup tinggi dan diarahkan pada proses *recovery*. Pada umumnya metode terpasang yang ada sekarang, proses reduksi volume pada pengolahan limbah B3 cair fase air biasanya hanya mampu mengatasi persoalan limbah dengan karakteristik tertentu, sehingga beningan *over flow* yang dihasilkan dari proses pengolahan kimia biasanya masih mengandung sedikit logam berat dan zat padat terlarut sehingga belum dapat dibuang ke lingkungan^(1,2,3).

Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses flokulasi-koagulasi. Proses ini diduga dapat

menjadi pilihan metode pengolahan limbah radioaktif dan limbah B3 cair fase air alternatif mendampingi metode-metode pengolahan yang lain yang terpasang. Kelebihan utama proses elektrokoagulasi untuk mengolah limbah cair adalah pada proses ini adalah pada penggunaan

bahan kimia yang minimum. Fenomena proses reaksi yang terjadi pada proses ini seperti terlihat pada reaksi (1) sampai reaksi (7), dan proses elektrokoagulasi dapat digambarkan seperti pada Gambar 1^(3,4).



Gambar 1. Proses Elektrokoagulasi

Pada skala industri metode ini belum optimal diaplikasikan untuk instalasi pengolahan limbah cair (IPLC), sehingga perlu dilakukan pengkajian proses melalui percobaan-percobaan pendahuluan dan pengujian terhadap parameter yang berpengaruh. Proses elektrokoagulasi tersusun atas proses equalisasi, elektrokimia, sedimentasi dan proses filtrasi. Proses equalisasi dimaksudkan untuk menyeragamkan limbah cair yang akan diolah terutama kondisi pH, pada tahap ini tidak terjadi reaksi kimia^(4,5). Pada proses elektrokimia akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari plat elektrode (anoda) sehingga membentuk flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah. Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi^(5,6,7,8).

1. Pada Katoda : Ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



Larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda.

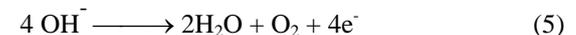


2. Reaksi pada anoda

Anoda terbuat dari logam aluminium akan teroksidasi.



Ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2),



Jika larutan mengandung ion-ion logam lain maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda



Contoh :



Dari reaksi tersebut, pada anoda akan dihasilkan gas, buih dan flok $\text{Al}(\text{OH})_3$. Selanjutnya flok yang terbentuk akan menjebak secara elektroionik terhadap logam Cr yang ada di dalam limbah, sehingga flok akan memiliki kecenderungan mengendap. Selanjutnya flok yang telah mengikat kontaminan Cr tersebut mengendap pada bak sedimentasi (proses sedimentasi) dan sisa buih akan terpisah pada unit filtrasi.

Pada percobaan pendahuluan ini digunakan limbah radioaktif cair simulasi yang mengandung kontaminan logam Cr. Melalui percobaan ini diharapkan dapat diperoleh data teknis tentang proses elektrokoagulasi yang dapat diterapkan untuk melengkapi data perancangan unit

elektrokoagulator pada pengolahan limbah radioaktif cair, dan limbah B3. Variabel yang dicoba adalah kuat arus dan waktu operasi dan sebagai uji kualitas proses digunakan standar nilai baku yang ditetapkan untuk limbah cair industri kimia sesuai dengan surat keputusan Kep. Kepala BAPEDAL No 03/BAPEDAL/04/1995 dan Keputusan Gubernur Kepala Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 281/ KPTS/1998 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri Di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta tentang kadar maksimum logam berat yang diperbolehkan (3,4,6).

TATA KERJA

Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah radioaktif cair simulasi yang mengandung kontaminan logam berat Cr sebesar 22,00 mg/liter dengan kadar zat padat terlarut (TSS) sebesar 85,0 mg/liter.

Alat

Alat yang digunakan adalah perangkat elektrokoagulasi hasil rekayasa dengan debit 0,5 liter/menit, dan untuk analisis Cr digunakan perangkat AAS. Sedangkan penentuan kadar zat padat terlarut (TSS) digunakan metode gravimetri, dan penyaring teknis dengan kertas saring terpasang 400 mesh.

Cara Kerja

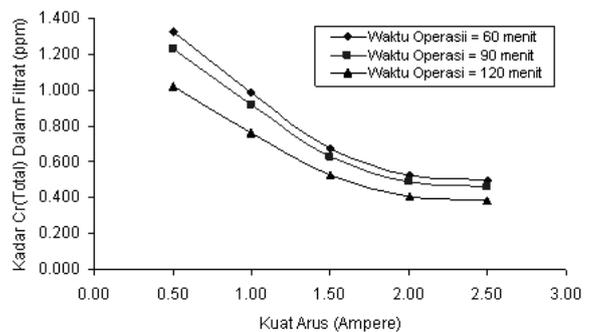
Limbah cair fase air yang akan diolah dipompa masuk ke dalam bak equalisasi dengan debit aliran 0,5 liter/ menit dan setelah bak equalisasi penuh, pompa tetap dihidupkan dan luapan dari bak equalisasi dimasukkan ke dalam bak elektrokoagulasi. Setelah bak elektrokoagulasi penuh dengan limbah, aliran arus listrik searah dihidupkan dengan mengaktifkan adaptor pada tegangan 4,0 volt dan kuat arus bervariasi dari 0,5 Ampere sampai 2,5 Ampere. Hasil proses elektrokoagulasi dialirkan ke dalam bak sedimentasi, dan selanjutnya beningan dari bak sedimentasi dimasukkan ke dalam bak filtrasi dengan media penyaring pasir lolos 400 mesh. Penggunaan proses penyaringan/filtrasi sebagai proses tambahan untuk dibandingkan terhadap kualitas efluen yang tanpa proses penyaringan.

Karakteristik proses elektrokoagulasi ditentukan dengan mengukur kadar Cr dan TSS dalam beningan yang keluar dari bak filtrasi untuk waktu proses (pengaliran) bervariasi dari 60 menit sampai 120 menit. Analisis kadar Cr dilakukan dengan perangkat AAS dan penentuan kadar TSS ditentukan dengan metode gravimetri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh kuat arus dan waktu operasi terhadap penurunan kadar Cr dalam filtrat hasil proses elektrokoagulasi.

Data pengaruh kuat arus dan waktu operasi terhadap karakteristik proses elektrokoagulasi limbah Cr disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Dari Gambar 2 diperoleh data bahwa setiap perubahan kuat arus akan menghasilkan efisiensi elektrokoagulasi yang berbeda. Semakin besar kuat arus (I), semakin rendah kadar logam Cr dalam filtrat yang diperoleh, hal ini terjadi untuk setiap perubahan waktu kontak (waktu elektrokoagulasi), semakin besar waktu kontak maka kadar Cr dalam filtrat semakin rendah. Dari Gambar 2 terlihat bahwa reduksi kadar Cr dalam limbah terbesar dicapai pada kuat arus (I) 2,5 Ampere dan waktu kontak 120 menit. Pada kondisi ini kadar Cr dalam filtrat sebesar 0,383 mg/L.

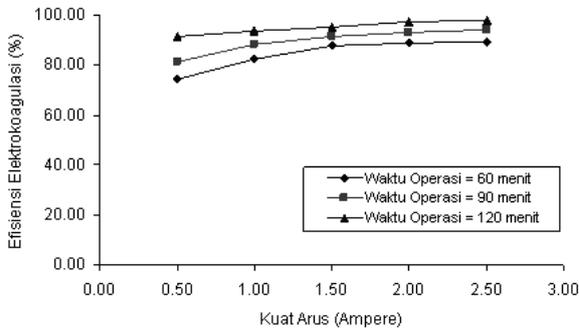


Gambar 2. Pengaruh kuat arus terhadap kadar Cr (total) dalam filtrat produk akhir, pada kondisi berbagai waktu proses elektrokoagulasi.

Pengaruh kuat arus terhadap nilai efisiensi reduksi kadar Cr yang dinyatakan sebagai efisiensi elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat diperoleh data bahwa setiap perubahan kuat arus akan menghasilkan efisiensi elektrokoagulasi yang berbeda. Semakin besar kuat arus (I) yang digunakan, maka semakin tinggi nilai efisiensi elektrokoagulasi yang diperoleh, hal ini terjadi untuk setiap perubahan waktu kontak (waktu elektrokoagulasi), semakin besar waktu kontak maka semakin tinggi nilai efisiensi elektrokoagulasinya. Dari Gambar 3 dapat diperoleh data bahwa nilai efisiensi elektrokoagulasi terbesar dicapai pada kuat arus 2,5 Ampere dan waktu operasi selama 120 menit, yaitu menghasilkan nilai efisiensi elektrokoagulasi sebesar 98,116 %.

Dari percobaan diperoleh data bahwa besarnya kuat arus dan waktu kontak berpengaruh terhadap penurunan kadar Cr dalam limbah.

Diperoleh informasi bahwa semakin besar kuat arus yang digunakan maka waktu kontakannya semakin singkat. Hal ini terjadi karena adanya perubahan arus listrik akan terjadi medan magnet di sekitar elektroda. Dengan adanya medan magnet di sekitar elektroda, ion-ion Cr akan bergerak dengan lintasan berbentuk helik mengitari plat elektroda sehingga pada saat itu ada kecenderungan ion-ion Cr^{++} dapat menempel pada seluruh permukaan plat elektroda.



Gambar 3. Pengaruh kuat arus terhadap nilai efisiensi elektrokoagulasi limbah khrom pada berbagai waktu elektrokoagulasi.

Pada proses elektrokimia, pada saat yang sama adanya arus listrik di anoda akan terjadi reaksi oksidasi terhadap anion (ion negatif), anoda yang terbuat dari logam seperti aluminium akan mengalami reaksi oksidasi menghasilkan ion Al^{3+} dan akan mengikat ion $(\text{OH})^-$ membentuk flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dapat mengikat ion-ion Cr^{++} serta menangkap sebagian logam Cr^0 yang tidak terdeposit pada batang katoda. Ketiga kondisi ini yang memungkinkan terjadinya penurunan kadar Cr dalam limbah. Pada percobaan ini penurunan kadar Cr dalam limbah terbesar terjadi pada kuat arus 2,5 Ampere dengan waktu kontak 120 menit yaitu menghasilkan efisiensi elektrokoagulasi atau efisiensi penurunan kadar Cr sebesar 98,222 %, yaitu dengan kadar Cr sebesar 0,384 mg/L.

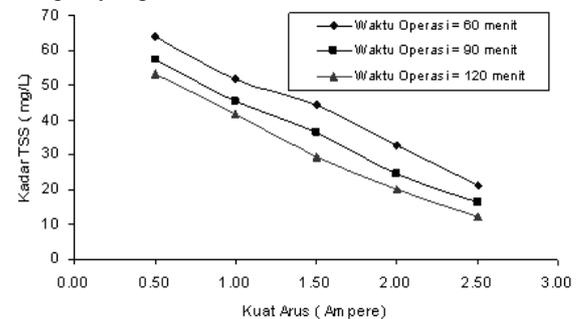
Pengaruh kuat arus dan waktu operasi terhadap karakteristik proses elektrokoagulasi kadar zat padat terlarut (TSS)

Data pengaruh kuat arus terhadap karakteristik penurunan kadar TSS dalam limbah pada berbagai waktu proses elektrokoagulasi disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

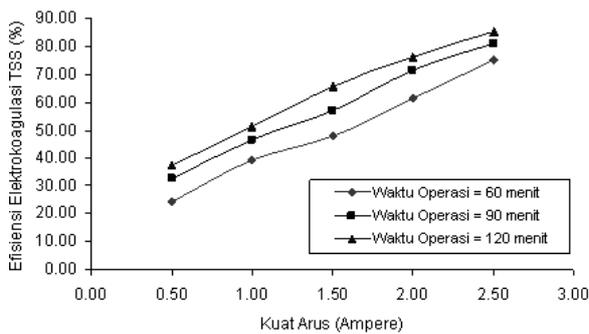
Pada Gambar 4 dan Gambar 5 diperoleh data bahwa kuat arus berpengaruh terhadap nilai penurunan kadar TSS dalam limbah. Semakin besar nilai kuat arus yang diberikan akan terjadi penurunan kadar TSS dalam limbah atau nilai efisiensi elektrokoagulasinya semakin besar. Hal ini juga terjadi pada perubahan lamanya proses elektrokoagulasi, semakin lama waktu prosesnya

akan dihasilkan penurunan kadar TSS yang semakin besar. Dari data yang diperoleh kondisi terbaik untuk mereduksi TSS adalah pada kuat arus 2,5 Ampere dengan waktu kontak selama 120 menit, yaitu menghasilkan efisiensi elektrokoagulasi (penurunan kadar TSS) sebesar 85,33 % dengan nilai TSS dalam efluen sebesar 12,472 mg/L. Dari data yang diperoleh pada percobaan ini seperti terlihat pada Gambar 2 sampai Gambar 5, nilai efisiensi elektrokoagulasi yang diperoleh terlihat bahwa pada kuat arus di atas 2,0 Ampere kenaikannya sebenarnya tidak terlalu besar. Kasus ini juga terjadi pada penurunan kadar Cr dan kadar TSS, diatas 2,0 Ampere nilai kadar Cr dan TSS cenderung tetap. Hal ini diduga karena terjadi kejenuhan pada plat elektroda yang digunakan pada elektrokoagulator. Plat elektroda tersebut sudah berkurang kemampuannya untuk menarik ion-ion Cr^{++} dalam limbah karena seluruh permukaan plat sudah tertutup oleh ion-ion tersebut. Dampak dari kondisi ini menyebabkan terjadinya penurunan besarnya medan magnet.

Pada saat medan magnet diantara plat elektroda masih cukup besar, sistem ionik dalam sistem air dari logam-logam yang ada dominan saling berkompetisi untuk menempel pada plat elektroda dan proses oksidasi pada plat anoda juga masih besar. Sehingga meskipun dalam larutan nampak lebih keruh, tetapi kekeruhan tersebut selain diakibatkan adanya kotoran, sebagian besar kekeruhan diduga diakibatkan karena terbentuknya flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang akhirnya mengendap pada bak sedimentasi. Dengan demikian nilai efisiensi elektrokoagulasi yang diperoleh masih cukup besar. Pada saat plat elektroda sudah jenuh dan medan magnet yang terjadi sudah sangat kecil maka proses elektrokimia dalam sistem air sudah minimum dan proses elektrokoagulasi tidak terjadi, sehingga kadar $\text{Cr}_{(\text{total})}$ dalam limbah dan nilai TSS akan menjadi tetap. Pada saat proses elektrokoagulasi sudah mencapai titik terendah yaitu pada saat plat elektroda tidak menimbulkan medan magnet, kadar Cr dalam limbah dan nilai TSS masuk akan sama dengan yang keluar dari bak sedimentasi.



Gambar 4. Pengaruh kuat arus terhadap kadar TSS dalam filtrat produk akhir, pada berbagai waktu elektrokoagulasi.

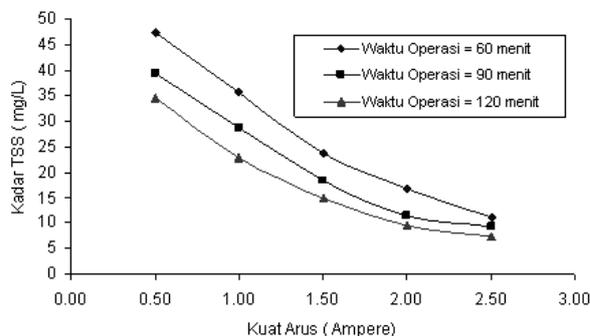


Gambar 5. Pengaruh kuat arus terhadap nilai efisiensi elektrokoagulasi kadar TSS pada berbagai waktu elektrokoagulasi.

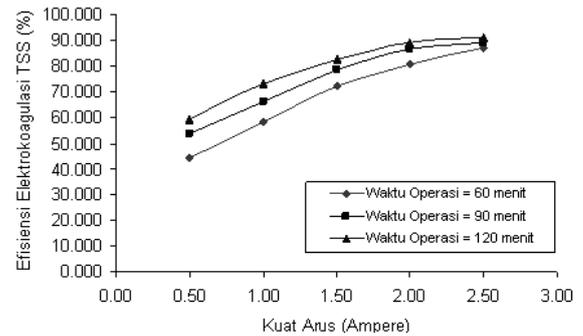
Pengaruh proses penyaringan terhadap karakteristik proses elektrokoagulasi kadar zat padat terlarut (TSS)

Data pengaruh proses penyaringan teknis disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Dari Gambar 6 dan Gambar 7 diperoleh informasi bahwa proses penyaringan harus menjadi bagian penting dalam penyusunan sistem proses elektrokoagulasi. Efluen yang keluar dari proses sedimentasi perlu disaring terlebih dulu sebelum masuk kedalam proses sorpsi. Dari data yang diperoleh, proses penyaringan mampu menurunkan nilai TSS secara signifikan, sehingga proses penyaringan harus dipertimbangkan menjadi variabel penting dalam sistem elektrokoagulasi.

Pada percobaan ini belum dilakukan perubahan model penyaringan, tetapi dari data yang ada proses penyaringan mampu menurunkan nilai kadar TSS mendekati 50,0 % dibandingkan yang tanpa proses penyaringan. Pada kondisi terbaik pada percobaan ini yaitu pada kuat arus 2,5 Ampere, waktu operasi elektrokoagulasi selama 120 menit, setelah proses penyaringan diperoleh nilai efisiensi elektrokoagulasi TSS sebesar 91,231 %, dengan nilai TSS sebesar 7,457 mg/L.



Gambar 6. Pengaruh penyaringan terhadap karakteristik kadar TSS dalam filtrat produk akhir, pada berbagai waktu elektrokoagulasi.



Gambar 7. Pengaruh penyaringan terhadap karakteristik kadar TSS dalam filtrat produk akhir pada berbagai waktu elektrokoagulasi.

KESIMPULAN

Dari data percobaan ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Elektrokoagulasi secara teknis dapat digunakan sebagai metode reduksi volume limbah yang harus dikembangkan karena mampu mereduksi kontaminan dalam limbah di atas 80,0 %.
2. Kondisi terbaik pada percobaan ini dicapai pada kuat arus 2,5 Ampere, waktu operasi elektrokoagulasi selama 120 menit, yaitu memberikan efisiensi elektrokoagulasi kontaminan Cr sebesar 98,222 % dan TSS sebesar 85,33 %, pada kondisi tersebut memberikan nilai kadar Cr dalam efluen sebesar 0,383 mg/L dan nilai TSS sebesar 12,472 mg/L.
3. Di luar variabel utama, untuk meningkatkan kualitas efluen, secara fisis dapat dilakukan melalui proses penyaringan teknis/filtrasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. EMDI, 1994, "Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia", BAPEDAL, Jakarta.
2. FRANLE A PATTY, 1962, "Industrialisasi Hygienis and Toxicology", Second Revised Ed., Vol. 2, Interscience Publisher a Devision of Jhon & Sons, Inc NY, London.
3. ANONIM, 1991, "Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Penyamakan Kulit", Kep Men.Neg KLH, No. 03/MenKLH/II/1991.
4. ANONIM, 1995, "Pengolahan Limbah B-3 Tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun", Kep. Kepala BAPEDAL NO 03/BAPEDAL/09/1995.
5. ANONIM, 1991, "Proses Penyamakan Kulit", Balai Penelitian Kulit, Yogyakarta
6. FA LOWENHEIM, 1978, "Electroplating", Mc Graw Hill, New York.
7. AZHAR, NURHASANAH, 1993, "Penelitian Pengolahan Air Dengan Elektrokimia", Jurnal penelitian Pemukiman", Volume 9-11

8. HARTINI, SRI, 2003, "Karakteristik Limbah Cair", Teknik Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah', PUSTEKLIM, Yogyakarta.

TANYAJAWAB

Agus Hadi Ismoyo (PTBIN)

- Mohon dijelaskan kelebihan proses ini dibandingkan dengan proses yang lain?

Prayitno

- Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi flokulasi untuk mengolah limbah cair tanpa penambahan bahan kimia di dalam proses.

Sunardjo (PTAPB)

- Bagaimana mekanisme proses elektrokoagulasi sampai terjadi pembentukan flok dalam pengendapan ?

Prayitno

- Proses elektrokoagulasi meliputi beberapa tahap proses : proses equalisasi, elektrokimia dan sedimentasi. Proses

equalisasi untuk menyeragamkan limbah cair yang akan diolah terutama kondisi pH, pada tahap ini tidak terjadi reaksi kimia karena digunakan sistem input dan output dari larutan yang masuk. Proses elektrokimia akan terjadi pelepasan Al^{3+} dari plat elektrode sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat kontaminan dan partikel dalam limbah.

Damunir (PTAPB)

- Apakah arus elektron pada proses ini dapat berfungsi untuk menyebabkan terjadi koagulasi pada limbah organik cair?

Prayitno

- Ya, apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan diberi arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerakan elektron yang dioksidasi. Proses elektrokimia akan terjadi pelepasan Al^{3+} sehingga membentuk flok $Al(OH)_3$ yang mampu mengikat bahan pencemar dalam limbah.