

Pengolahan limbah cair industry karet secara elektrokoagulasi dengan rancangan percobaan *Taguchi fractional factorial*

Lilis hermidia*, Suhendra

¹ Jurusan Teknik kimia-Fakultas teknik, Universitas Lampung, Jl.Prof. Dr. S. Brojonegoro No.1 Gedung Meneng Rajabasa Bandar Lampung.

*E-mail: lilis.hermida@eng.unila.ac.id

Abstrak

Penelitian pengolahan limbah cair indutri karet telah dilakukan dengan cara elektrokoagulasi menggunakan lima elektroda besi yang disusun secara bipolar. Rancangan percobaan menggunakan *Taguchi fractional factorial* untuk mengetahui kondisi optimal tingkat penurunan kekeruhan. Adapun parameter-parameter kondisi operasi yang di variasikan adalah: jarak antar elektroda, kuat arus dan koduktivitas limbah cair. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa persentase penurunan kekeruhan optimal diperoleh sebesar 96,57% pada kondisi operasi: konduktivitas limbah cair 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, jarak antar elektroda 1,5 cm, pemakaian kuat arus 0,2 A dan waktu operasi selama 180 menit.

Kata kunci: limbah cair, elektrokoagulasi, elektroda besi, *Taguchi fractional factorial*, kondisi optimal

1. Pendahuluan

Limbah cair dari industri pengolahan karet mengandung material organik yang tinggi karena karet berisi 90-95% polimer, 2-3% protein, 1-2 mg/l asam lemak, 0,2% gula, 0,5 garam (Na, Mg, K, P, Ca, Cu, Mn dan Fe), dan air (Goutara, Djatmiko dan Tjptadi, 1976). Dan juga berisi 2-2.5% amoniak yang digunakan untuk mengawetkan karet (5-10 ml per liter karet) (Setjamidjaja, 1993).

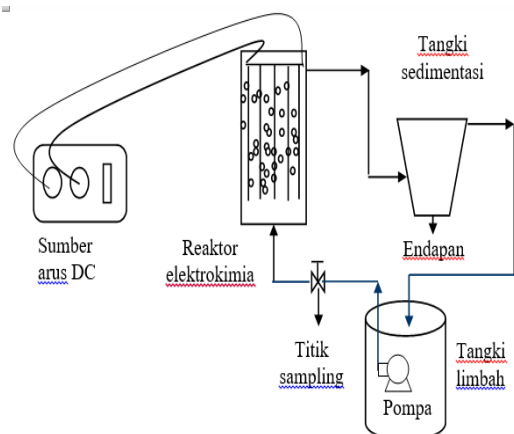
Nitrat, ortofosfat, dan materi-materi organik dalam air limbah menyebabkan efek yang tidak baik bagi lingkungan seperti eutrofikasi, yaitu reduksi oksigen terlarut. Selain itu senyawa amonia beracun bagi manusia dan organisme akuatik (Sawyer dkk, 1994). Sehingga bila bahan-bahan kimia tidak dihilangkan dari air limbah, kerusakan lingkungan akan terjadi.

Berdasarkan deskripsi di atas, penting untuk mengembangkan suatu metode pengolahan air limbah karet yang mampu menghilangkan nitrogen, senyawa-senyawa ortofosfat, dan materi-materi organik. Dalam penelitian ini, air limbah diolah dengan menggunakan proses elektrokoagulasi yang menggunakan 5 (lima) elektroda besi yang disusun secara bipolar dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh arus listrik, jarak elektroda, dan konduktivitas pada persentase penurunan TSS, reduksi kekeruhan (turbiditas), dan pH. Kondisi optimal penurunan kekeruhan diketahui dengan menggunakan rancangan percobaan *Taguchi fractional factorial*.

2. Metodologi

Sistem operasi peralatan pada penelitian ini berlangsung secara *batch recycle* seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Keadaan awal limbah cair karet yang diambil dari industri karet dianalisis terlebih dahulu yang meliputi analisis

pH dan kekeruhan (NTU). Kemudian dilakukan penetapan kondisi operasi eksperimen berdasarkan rancangan percobaan *Taguchi fractional factorial* pada Tabel 1 (Bagachi, 1993)



Gambar 1. Skematik rangkaian alat percobaan

Tabel 1. Rancangan percobaan *Taguchi fractional factorial*

Run	Kuat arus (A)	Konduktivitas limbah ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Jarak antar elektroda (cm)	Data yang diamati
1	0,1	1000	0,5	NTU,pH
2	0,1	1400	1,0	NTU,pH
3	0,1	1700	1,5	NTU,pH
4	0,2	1000	1,0	NTU,pH
5	0,2	1400	1,5	NTU,pH
6	0,2	1700	0,5	NTU,pH
7	0,3	1000	1,5	NTU,pH
8	0,3	1400	0,5	NTU,pH
9	0,3	1700	1,0	NTU,pH

Pada eksperimen pertama (*Run1*) yaitu pada kondisi operasi : kuat arus 0,1 A; konduktivitas limbah *influent* = 1000 $\mu\text{s/cm}$; jarak antar elektroda = 0,5 cm, pH *influent* = 4 dan waktu operasi 30 menit dilakukan langkah-langkah sebagai berikut : Limbah cair karet diambil sebanyak 2,5 liter ditempatkan dalam tangki *influent* yang dilengkapi dengan pH meter. Kemudian dilakukan pengaturan pH sehingga limbah karet tersebut mempunyai pH = 4 dengan cara menambahkan larutan (H_2SO_4) asam sulfat 0,01 M (untuk menaikkan pH) atau (NaOH) alkali 0,1 M (untuk menurunkan pH) kedalam limbah tersebut sambil diukur pH-nya. Konduktivitas air limbah diukur dengan konduktivitas meter dan kemudian air limbah tersebut dikondisikan agar konduktivitasnya = 1000 $\mu\text{s/cm}$ dengan cara menambahkan larutan garam 0,1 M (NaCl) kedalam limbah tersebut sedikit-demi sedikit sambil diukur konduktivitasnya.

Reaktor elektrokoagulasi disiapkan dengan memasang dan mengatur elektroda besi pada tempatnya dengan jarak antar elektroda 0,5 cm. Reaktor ini dihubungkan dengan sumber arus listrik searah sehingga menghasilkan kuat arus 0,1 A. Reaktor elektrokoagulasi kemudian dijalankan dengan secara *batch recycle* dengan laju alir 5 liter per jam. Laju lair yang dipakai adalah tetap untuk setiap eksperimen. Sistem dibiarkan berjalan beberapa menit sampai laju alir tidak berubah. Percobaan dimulai ketika sumber arus listrik searah dinyalakan dan voltase reator elektrokimia diukur. Sistem elektrokoagulasi dioperasikan selama 180 dan pengambilan sampel untuk disnalisa dilakukan pada menit ke 0,36, 72, 108, 144 dan 180. Analisa sampel meliputi kekeruhan (NTU) dan pH. Angka persentase penurunan kekeruhan diperoleh dengan persamaan rumus :

$$\text{Persentase penurunan kekeruhan} = \frac{\text{NTU}_{\text{awal}} - \text{NTU}_{\text{akhir}}}{\text{NTU}_{\text{awal}}} \times 100\%$$

Pada eksperimen kedua dan seterusnya sampai eksperimen ke-9 dilakukan tahapan-tahapan seperti pada eksperimen pertama diatas dengan kondisi operasi yang ditetapkan berdasarkan rancangan percobaan pada Tabel 1.

3. Hasil dan pembahasan

Data-data hasil penelitian ini dapat dilihat pada Table 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

Run	Analisis	Waktu (menit)					
		0	36	72	108	144	180
1	Turbiditas (NTU)	407	185	85	56	28	20
	Penurunan Turbiditas (%)	0	54,54	78,87	86,24	93,12	95,08
	pH	6,05	6,69	7,59	7,68	8,02	8,58
2	Turbiditas (NTU)	334	185	34	30	28	21
	Penurunan Turbiditas (%)	0	44,61	89,82	91,02	91,62	93,71
	pH	6,00	7,70	8,03	8,37	8,81	9,10
3	Turbiditas (NTU)	331	86	67	63	22	16
	Penurunan Turbiditas (%)	0	74,02	79,76	80,97	93,35	95,16
	pH	6,10	6,63	7,94	8,03	8,55	8,91
4	Turbiditas (NTU)	430	68	53	40	33	31
	Penurunan Turbiditas (%)	0	84,18	87,67	90,69	92,33	92,79
	pH	6,00	7,45	8,42	8,88	9,07	9,10
5	Turbiditas (NTU)	353	93	28	21	21	15
	Penurunan Turbiditas (%)	0	73,65	92,06	94,05	94,05	95,75
	pH	6,05	8,54	8,54	8,65	8,92	8,94
6	Turbiditas (NTU)	293	218	123	56	56	43
	Penurunan Turbiditas (%)	0	25,60	58,02	80,88	80,88	85,32
	pH	6,01	7,24	7,34	7,35	8,40	8,55
7	Turbiditas (NTU)	289	113	52	23	21	14
	Penurunan Turbiditas (%)	0	60,89	82,01	92,04	92,73	95,15
	pH	5,99	7,18	7,32	7,48	8,52	9,09
8	Turbiditas (NTU)	278	107	91	55	31	17
	Penurunan Turbiditas (%)	0	61,51	67,26	80,22	88,85	93,88
	pH	6,10	8,29	8,31	8,35	8,36	8,51
9	Turbiditas (NTU)	399	50	22	18	17	14
	Penurunan Turbiditas (%)	0	87,47	94,48	95,49	95,74	96,49
	pH	6,00	7,32	8,09	8,19	8,49	8,73

Dari rancangan percobaan pada table 1 dapat diketahui level dari faktor-faktor: kuat arus, konduktivitas dan jarak antar elektroda. Hal ini didiskripsikan pada Table 3

Tabel 3. Level Faktor Desain Percobaan

Level Faktor	Kuat Arus (A)	Konduktivitas ($\mu\text{s/cm}$)	Jarak antar Elektroda (cm)
ke-1	0,1	1000	0,5
ke-2	0,2	1400	1,0
ke-3	0,3	1700	1,5

Berdasarkan data hasil penelitian pada Tabel 2 dapat diketahui hasil analisis Taguchi terhadap rata-rata % penurunan kekeruhan(%R) pada setiap parameter atau faktor. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis Taguchi terhadap rata-rata % penurunan kekeruhan(%R) pada setiap parameter

Level Faktor	Rata-rata %R		
	Kuat Arus	Konduktivitas	Jarak antar Elektroda
1	94,65	91,59	91,43
2	95,37	95,57	94,33
3	91,09	93,94	95,92
Delta	4,28	3,98	4,50
Rangking	2	3	1

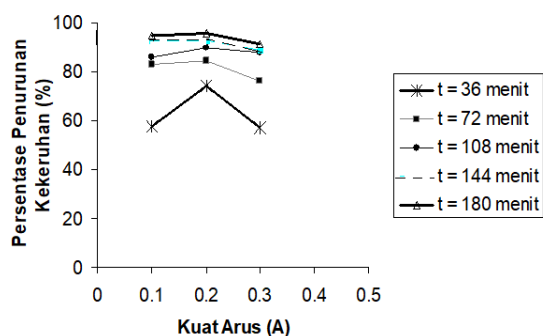
Delta adalah selisih rata-rata %R tertinggi dan rata-rata %R terendah.

Berdasarkan hasil analisis Taguchi pada Tabel 4 diketahui bahwa jarak antar elektroda memiliki nilai delta yang paling besar yaitu 4,50 dibandingkan kuat arus dengan delta 4,28 dan konduktivitas dengan delta 3,98. Nilai delta terbesar menunjukkan bahwa jarak antar elektroda merupakan faktor utama yang mempengaruhi persentase penurunan kekeruhan limbah karet.

3.1 Pengaruh Kuat Arus Terhadap rata-rata % penurunan kekeruhan

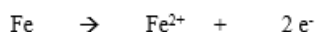
Gambar 2 adalah pengaruh kuat arus terhadap rata-rata penurunan kekeruhan. Secara umum dapat disimpulkan pada Gambar 2 bahwa semakin besar kuat arus yang digunakan maka semakin tinggi rata-rata % penurunan kekeruhan hingga mencapai titik tertinggi. Setelah titik

tertinggi dicapai semakin besar kuat arus yang digunakan rata-rata % penurunan kekeruhan akan berkurang. Rata-rata % penurunan kekeruhan pada tertinggi untuk kuat arus 0,1 A adalah 94,65 %, untuk kuat arus 0,2 A sebesar 95,37%, sedangkan untuk kuat arus 0,3 A mencapai 91,09 %. Sehingga rata-rata persentase penurunan kekeruhan yang optimal yaitu 95,37 diperoleh pada kuat arus 0,2 A pada waktu 180 menit.

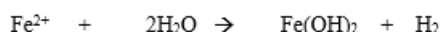


Gambar 2. Pengaruh Kuat Arus Terhadap rata-rata persentase penurunan kekeruhan

Kuat arus listrik pada proses elektro-koagulasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kekeruhan limbah cair industri karet. Berdasarkan hukum Faraday, kuat arus listrik berbanding lurus dengan berat atau banyaknya ion-ion logam yang meluruh, maka semakin besar kuat arus listrik yang disuplai ke elektroda besi akan semakin banyak pula peluruhan ion-ion Fe^{2+} yang nantinya akan berikatan dengan partikel-partikel koloid dalam air limbah sehingga dapat meningkatkan persentase penurunan turbiditas (Mollah dkk, 2002). Reaksi oksidasi dan peluruhan ion-ion Fe^{2+} terjadi di kutub positif (anoda) elektroda dengan reaksi sebagai berikut :



Reaksi tersebut terjadi ketika sumber arus listrik searah dialirkan mengakibatkan elektroda besi yang digunakan luruh menghasilkan ion-ion Fe^{2+} . Ion-ion Fe^{2+} kemudian berikatan dengan senyawa air yang terdapat dalam limbah dan membentuk senyawa $Fe(OH)_2$ dan ion H^{+} .



Pada saat yang bersamaan pembentukan gelembung gas hidrogen juga semakin cepat. Rejim aliran meningkat disebabkan pembentukan gelembung gas hidrogen sehingga proses hidrodinamika makin kuat yang akan menyebabkan meningkatnya flotasi flok-flok di dalam reaktor.

Namun peluruhan ion Fe^{2+} yang berlebih akan berikatan dengan Cl^{-} , SO_4^{-} dan menghasilkan reaksi samping yaitu berupa $FeCl$ dan $FeSO_4$ dimana reaksi-reaksinya sebagai berikut :

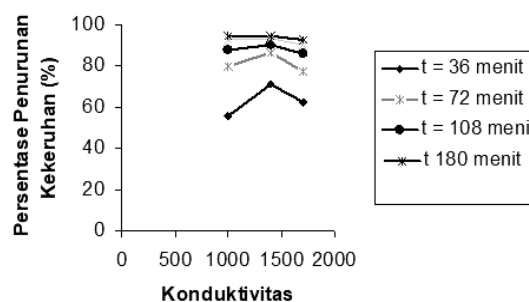


Pembentukan senyawa tersebut akan mempengaruhi konsumsi voltase pada arus tetap karena $FeCl$ dan $FeSO_4$ mengakibatkan resistansi didalam larutan. Floksnya dapat dibedakan $FeCl$ berwarna kuning pada pH 6-6,5 dan $FeSO_4$, berwarna hijau pada pH diatas 6,5

3.2 Pengaruh Konduktivitas Terhadap Persentase penurunan kekeruhan

Limbah cair industri karet memiliki konduktivitas sebesar 300 – 500 $\mu S/cm$. Sebelum air limbah diolah, konduktivitas terlebih dahulu dinaikkan dengan menambahkan garam dapur ($NaCl$) hingga konduktivitasnya menjadi 1000, 1400, dan 1700 $\mu S/cm$.

Pengaruh konduktivitas terhadap rata-rata persentase penurunan kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 3. Persentase penurunan kekeruhan akan meningkat seiring dengan naiknya konduktivitas air limbah sampai dengan tingkat konduktivitas optimum. rata-rata persentase penurunan kekeruhan terus meningkat dari konduktivitas 1000 $\mu S/cm$ sampai 1400 $\mu S/cm$ dan kemudian menurun pada konduktivitas 1700 $\mu S/cm$.



Gambar 3. Pengaruh konduktivitas terhadap rata-rata persentase penurunan kekeruhan

Konduktivitas terlalu tinggi akan mengurangi reaksi elektrolisis pada elektroda besi (Mollah dkk, 2000). Hal ini karena ion Na^{+} akan bereaksi juga dengan SO_4^{-} , hasil penambahan H_2SO_4 untuk menurunkan pH. Dengan demikian terjadi reaksi samping yang merugikan proses elektrokoagulasi karena dapat mengakibatkan naiknya voltase yang digunakan karena reaksi samping tersebut menjadi efek resistansi pada larutan limbah. Pembentukan reaksi samping adalah sebagai berikut:

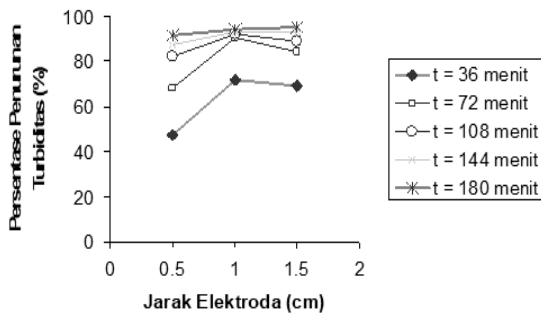


Berdasarkan analisis Taguchi terhadap rata-rata persentase penurunan kekeruhan diperoleh optimal pemakaian konduktivitas 1400 $\mu S/cm$ pada waktu 180 menit. Pada kondisi ini

didapatkan persen penurunan kekeruhan diatas 95,57%.

3.3 Pengaruh jarak antar elektroda terhadap persentase penurunan kekeruhan

Gambar 4. menunjukkan pengaruh jarak antar elektroda terhadap rata-rata persentase penurunan kekeruhan. Pada sistem elektrokoagulasi yang dioperasikan dari 36 sampai 108 menit persentase penurunan kekeruhan akan meningkat seiring dengan besarnya jarak antar elektroda hingga jarak antar elektroda 1 cm, kemudian terjadi penurunan pada jarak antar elektroda 1,5 cm. Namun untuk sistem elektrokoagulasi yang dioperasikan pada 144 menit dan 180 menit semakin besar jarak antar elektroda dari 0,5 cm hingga 1,5 cm maka semakin tinggi persentase penurunan kekeruhan. Hal ini terjadi karena semakin besar jarak antar elektroda untuk waktu operasi tersebut semakin mudah partikel-partikel yang terkoagulasi didalam air limbah mengalir diantara kutub anoda dan katoda (Mameri dkk,1998).



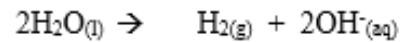
Gambar 3. Pengaruh jarak antar terhadap rata-rata persentase penurunan kekeruhan

Persentase penurunan kekeruhan optimal yaitu 95,92% diperoleh jarak antar elektroda optimal adalah 1,5 cm dan waktu operasi selama 180 menit.

3.4. Perubahan pH Air Limbah

Dari data hasil percobaan pada Tabel 2 diketahui bahwa limbah cair karet mengalami kenaikan pH selama proses elektrokoagulasi berlangsung sehingga didapatkan pH effluent setelah 3 jam rata-rata diatas 8,50 sampai dengan 9. Kenaikan pH ini disebabkan oleh beberapa mekanisme yang terjadi selama proses elektrokoagulasi. CO₂ yang berada di dalam limbah bisa terlepas dari limbah dan mengganggu gelembung-gelembung H₂ sehingga menyebabkan pH meningkat (Chen, 2000). Adanya beberapa anion seperti Cl⁻, SO₄⁻, HSiO₄⁻, NO₃⁻ dan lain-lain dapat menggantikan OH⁻ pada Fe(OH)₂ yang akan menghasilkan OH⁻. Adapun ion OH⁻ ini akan meningkatkan pH limbah. OH⁻ dalam limbah dihasilkan dari adanya

reaksi hidrolisis air selama proses elektrokoagulasi dengan reaksi sebagai berikut :



Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa pH effluent menjadi 7,18 – 9,10.

3.5. Proses Elektrokoagulasi pada kondisi operasi optimal

Kondisi optimal proses elektrokoagulasi limbah cair industri karet dengan sistem *batch recycle* didapatkan dari analisa data hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu sebagai berikut :

- Kuat arus : 0.2 A
- Konduktivitas : 1400 µS/cm
- Jarak antar elektroda : 1,5 cm
- pH: 6
- Waktu operasi : 180 menit
- Laju alir: 80 mL/menit

Setelah dilakukan proses elektrokoagulasi limbah cair dari industri karet pada kondisi operasi optimal didapatkan hasil analisa limbah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis limbah cair industri karet sebelum dan sesudah diolah secara elektrokoagulasi pada kondisi optimum

Analisis	Kondisi Awal	Kondisi Akhir	Persen Penurunan (%)
Turbiditas (NTU)	904	31	96,57
TSS (mg/L)	615	22	96,42
COD (mg/L)	4400	497	88,70
BOD ₅ (mg/L)	1300	101	92,23
Amoniak (mg/L)	69,75	62,69	10,12

Dari Tabel 4 diketahui bahwa sebelum diolah TSS limbah cair karet sebesar 615 mg/l dan setelah diolah terjadi penurunan yang sangat signifikan yaitu menjadi 22 mg/l, sehingga besarnya *persentase removal* TSS adalah 96,42%. TSS hasil pengolahan ini telah memenuhi baku mutu limbah cair yang ditetapkan Gubernur Lampung yaitu sebesar 42 mg/l. Sedangkan hasil analisa kekeruhan didapatkan 31 NTU, yang sebelum diolah besarnya kekeruhan sebesar 904 NTU. Dari nilai akhir dan awal kekeruhan tersebut, maka besarnya persentase penurunan kekeruhan sebesar 96,57%.

4. Kesimpulan

Sistem proses elektrokoagulasi secara *batch recycle* menggunakan elektroda besi yang disusun secara bipolar dapat mereduksi kekeruhan air limbah industri karet hingga mencapai 96,57%. Berdasarkan rancangan percobaan *Taguchi fractional factorial* diperoleh kondisi optimum dicapai pada uat arus : 0.2 A, konduktivitas :

1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, jarak antar elektroda : 1,5 cm, pH: 6, waktu operasi : 180 menit dan laju alir: 80 mL/menit. Sebelum diolah angka kekeruhan air limbah 904 NTU, setelah diolah melalui system elektrokoagulasi angka kekeruhan air limbah menjadi 31 NTU

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas pendanaan penelitian dari Dirjen DIKTI melalui Forum HEAD (Higher Education Development Support) tahun 2005.

Daftar pustaka

- Setjamidjaja D. 1993. *Karet: Budidaya dan Pengolahan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Sawyer, C.N., McCarthy, P.L., Parkin, G.F., 1994. *Chemistry for Environmental Engineering and Science*, 4th ed. McGraw-Hill International Edition, New York, pp. 365-577.
- Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, C. L. 2000. *Electrocoagulation (EC) Science and Application*. Journal of Hazardous Material. B84. 177-183
- Mameri, N., Iounici, II., Belhocine, D., Grib, II., Piron, D.L., and Yalhiat, Y. 2001. *Defluoridation of Sahara Water by Small Plant Electrocoagulation Using Bipolar Aluminium Electrodes*. Separation and Purification Technology. 24. 113-119
- Chen, X. M., Chen, G. I. I., and Yue, P. L. 2000. *Separation of Pollutant from Restaurant Wastewater by Electrocoagulation*. Separation dan Purification Technology. 19. 65-76
- Taguchi, T. P., *TAGUCHI METHODS EXPLAINED Practical Steps to Robust Design*, 1993, Prentice Hall of India, New Delhi

