

PENGARUH KONFIGURASI ELEKTRODA DAN KINETIKA PROSES ELEKTROKOAGULASI METHYLEN BLUE

Eko Ariyanto^{1*}

¹Program studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang
Jl. Jendral Ahmad Yani, 13 Ulu, Palembang, Telp. (0711)510820, Fax. (0711)519408

*Penulis korespondensi

Email: ekoump1706@gmail.com

Abstrak

Pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh methylen blue dapat mengganggu kesehatan lingkungan. Proses pengolahan limbah methylen blue diteliti dengan menggunakan proses elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi menggunakan reaktor batch dengan volume 1 liter dengan voltase 12 volt dan 5 A dan jarak antar plat adalah 2 cm. Elektroda yang digunakan adalah besi dan alumunium dengan konfigurasi Fe-Fe (katoda) Al-Al (anoda), Fe (katoda) Al-Al-Al (anoda), Fe-Fe-Fe (katoda) Al (anoda), Al-Al (katoda) Al-Al (anoda), dan Fe-Fe (katoda) Fe-Fe (anoda). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi Fe Al-Al-Al menghasilkan laju penurunan konsentrasi methylen blue lebih tinggi dibandingkan dengan susunan konfigurasi elektroda yang lain. Kinetika elektrokoagulasi menunjukkan bahwa laju penurunan konsentrasi methylen blue berlangsung pada orde 2.

Keyword : elektrokoagulasi, elektroda, methylen blue

Pendahuluan

Permasalahan pencemaran lingkungan saat ini menjadi salah satu *issue global* yang harus dicarikan solusinya. Kemajuan teknologi industri telah secara signifikan meningkatkan penurunan kualitas lingkungan terutama lingkungan air, melalui pembuangan air limbah industri dan limbah rumah tangga. Dimana limbah cair yang berasal dari industri maupun limbah rumah tangga dapat menjadi pemicu permasalahan lingkungan. Limbah yang menghasilkan warna dari berbagai sumber seperti: tekstil, kertas dan pulp, farmasi, dan penyamakan kulit dianggap sebagai penghasil polutan perwarna organik yang berbahaya bagi lingkungan. Setiap tahun produksi limbah warna seluruh dunia diperkirakan 700.000 – 1.000.000 ton (Erol Alver and Metin, 2012, Zollinger, 1991). Sebagian besar limbah warna yang apabila berada di badan air akan menghalangi cahaya matahari, panas dan oksidasi, sehingga tidak dapat terdegradasi atau terurai oleh lingkungan.

Salah satu zat warna yang digunakan dalam industri tekstil adalah Methylene Blue. Produksi limbah methylene blue yang dihasilkan oleh industri tekstil berkisar 50 % dari total limbah warna. Methylene blue adalah zat warna kation yang paling umum dan sering digunakan untuk proses pencelupan kain (Alexandro M.M. Vargas et al., 2011). Methylene blue yang terkandung di dalam air akan mengakibatkan keracunan bagi makhluk hidup. Efek racun terhadap manusia antara lain hipotermia, peningkatan tekanan darah, cedera kornea mata, dan kerusakan sistem pernapasan (Hatem A. AL-Aoh et al., 2013). Sehingga penelitian ini penting untuk dilakukan sebagai upaya untuk menghilangkan kandungan Methylene Blue di dalam air buangan limbah tekstil. Secara tradisional, air limbah tekstil diolah dengan berbagai metode seperti adsorpsi, pengendapan, penguraian secara kimia, aerasi, ultrafiltrasi, ozonisasi, biodegradasi, koagulasi, dan elektrokoagulasi (EC) (Lin and Peng, 1994).

Proses elektrokoagulasi mempunyai beberapa faktor yang mempengaruhinya yaitu kerapatan arus listrik, waktu, tegangan listrik, pH larutan, dan jarak antar elektroda (Singh and Ramesh, 2014). Hambatan arus listrik juga dipengaruhi oleh jarak antar elektroda, semakin besar jaraknya maka semakin besar hambatannya sehingga semakin kecil arus yang mengalir. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Singh and Ramesh (2014). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa jarak antar elektroda berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi *Reactive Blue 25* (RB 25) dengan menggunakan elektrokoagulasi. Penelitian pengaruh konfigurasi elektroda pada proses elektrokoagulasi masih sangat terbatas, terutama pengaruh jumlah dan variasi katoda yang digunakan. Dari beberapa literatur menunjukkan jumlah elektroda yang digunakan sangat berpengaruh signifikan terhadap laju penurunan konsentrasi methlen blue hal ini disebabkan semakin banyaknya ion elektroda yang dilepaskan selama proses elektrokoagulasi (Nandi, B. K dan Patel, S., 2013).

Dari uraian diatas maka penelitian ini mempelajari pengaruh susunan elektroda antara elektroda Fe dan Al di dalam proses elektrokoagulasi methylen blue tersebut. Dab mempelajari kinetika kinetika elektrokoagulasi dalam proses koagulasi methylen blue pada variasi konfigurasi elektroda.

Metodelogi Penelitian

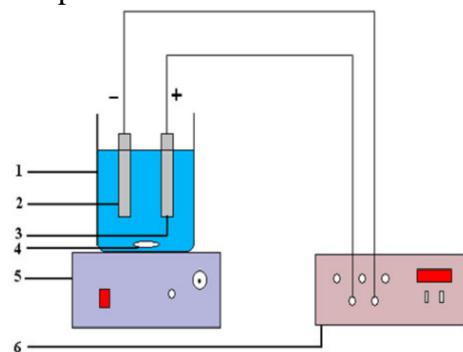
Persiapan Bahan

Penyiapan bahan baku untuk proses elektrokoagulasi methylen blue adalah sebagai berikut.

1. Larutan Methylen Blue dibuat dengan konsentrasi 5 ppm sebanyak 1 liter dengan pH 9.
2. Plat elektroda menggunakan Besi (Fe) dan Alumunium (Al).
3. Reaktor elektrokoagulasi menggunakan beackerglass dengan volume 1 liter.
4. Sumber arus listri menggunakan regulator voltage dengan arus 5 A dan tegangan 12 Volt.

Perancangan Reaktor Elektrokoagulasi

1. Reaktor Elektrokoagulasi dibuat dari Beakerglass dengan volume 1 liter.
2. Elektroda besi (Fe) dan Alumunium (Al) dengan ukuran yang sama (5 x 10 cm). Plat tersebut dimasukan kedalam beakerglass yang berisi larutan metylen blue dengan konsentrasi 5 ppm dengan jarak antar plat 2 cm.
3. Plat tersebut digunakan sebagai elektroda anoda dan katoda. Elektroda anoda dan katoda dihubungkan dengan menggunakan arus listrik DC (Direc Current) dengan spesifikasi 12 V dan 5 A. Skema Reaktor elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan Reaktor Elektrokoagulasi. (Keterangan: (1) Beakerglass, (2) Katoda, (3) Anoda, (4) Alat Pengaduk, (5) Pengaduk Magnetik, (6) Sumber listrik.

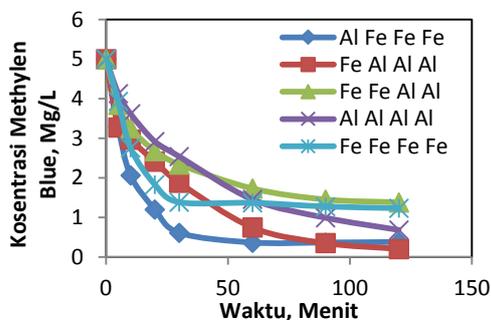
Proses Elektrokoagulasi

1. Larutan Methylen Blue dibuat dengan konsentrasi 5 ppm sebanyak 1 liter. Ditempatkan di dalam beakerglass dengan pH larutan methylen blue 9.
2. Pengaturan pH larutan menggunakan larutan NaOH 0.1 M dengan cara diteteskan dengan menggunakan pipet tetes. Pengukuran pH larutan menggunakan digital pH meter yang sebelumnya dikalibrasi dengan menggunakan larutan kalibrasi pada pH 9.
3. Setelah larutan metil blue ditempatkan di dalam beakerglass kemudian elektroda besi dan alumunium dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi dengan diatur jarak antar plat 2 cm. Jumlah plat yang digunakan adalah 4 buah dengan variasi sebagai berikut Fe-Fe (katoda) Al-

- Al (anoda), Fe (katoda) Al-Al-Al (anoda), Fe-Fe-Fe (katoda) Al (anoda), Al-Al (katoda) Al-Al (anoda), dan Fe-Fe (katoda) Fe-Fe (anoda).
- Plat elektroda tersebut dihubungkan dengan arus listrik dengan menggunakan regulator voltage dengan arus 5A dan 12 Volt.
 - Pada saat arus listrik dialirkan maka perhitungan waktu proses elektrokoagulasi diukur dengan menggunakan stopwatch. Proses elektrokoagulasi tersebut berlangsung 120 menit.
 - Sampel methylen blue diambil dengan variasi waktu 1, 5, 10, 20, 30, 60, 90, dan 120 menit. Sampel tersebut diambil dengan menggunakan suntikan dan kemudian disaring menggunakan kertas saring. Hasil filtrasinya ditempatkan didalam botol plastik ukuran 50 ml.
 - Sampel tersebut dianalisa menggunakan UV-visible spectrophotometer (Lambda 25 Perkin Elmer, USA) dengan menggunakan panjang gelombang 660 μm .

Hasil dan Pembahasan
Pengaruh Waktu Terhadap Konsentrasi Metil Blue pada Proses Elektrokoagulasi

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pH 9, konsentrasi awal larutan metil blue 5 mg/L, dan tegangan listrik 12 volt dengan variasi konfigurasi plat elektroda disajikan pada Gambar 2.



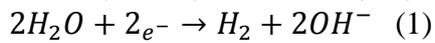
Gambar 2. Hubungan antara waktu elektrokoagulasi terhadap konsentrasi methylen blue pada variasi susunan plat elektroda

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa waktu kesetimbangan sangat dipengaruhi oleh susunan plat elektroda pada proses elektrokoagulasi methylen blue. Pada susunan plat elektroda Al Fe-Fe-Fe waktu kesetimbangan dicapai pada menit ke 30. Hal yang sama juga terjadi pada susunan plat Fe-Fe-Fe-Fe. Pada Susunan plat Fe Al-Al-Al, Al-Al Al-Al, dan Fe-Fe Al-Al mencapai waktu kesetimbangan pada menit ke 90. Kecepatan laju penurunan konsentrasi mencapai kesetimbangan dari methylen blue di dalam larutan dipengaruhi oleh jumlah ion Fe yang terlepas selama proses elektrokoagulasi (Nandi, B. K dan Patel, S., 2013). Sehingga semakin banyak jumlah elektroda Fe yang digunakan sebagai katoda semakin banyak ion Fe yang dilepaskan. Dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa susunan Al Fe-Fe-Fe dan Fe-Fe-Fe-Fe laju penurunan konsentrasi methylen blue mencapai titik kesetimbangan lebih cepat dibandingkan dengan susunan Fe Al-Al-Al, Al-Al Al-Al, dan Fe-Fe Al-Al. Laju pelepasan ion Fe dapat mengakibatkan peningkatan proses pembentukan penggumpalan (flocs) (Nandi, B. K dan Patel, S., 2013). Dengan kata lain, peningkatan jumlah Fe yang digunakan sebagai elektroda akan meningkatkan secara signifikan jumlah *flocs*.

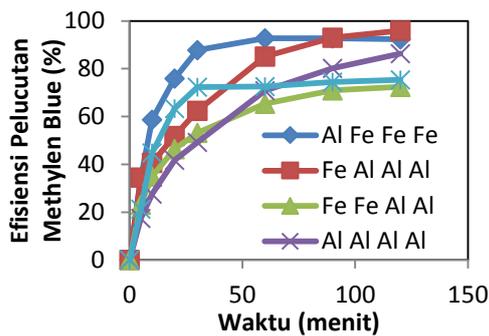
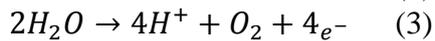
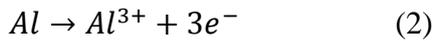
Pengaruh Susunan Plat Elektroda Terhadap Penurunan Konsentrasi Methylen Blue

Pada proses elektrokoagulasi, susunan plat merupakan parameter penting untuk mengontrol laju pembentukan flocs di dalam reaktor elektokoagulasi. Susunan plat elektroda dapat meningkatkan laju proses koagulasi dan pembentukan *flocs* didalam air limbah. Variasi susuan plat dalam penelitian ini adalah Fe-Fe-Fe-Fe, Al Fe-Fe-Fe, Fe Al-Al-Al, Fe-Fe Al-Al, dan Al-Al Al-Al. Dalam penelitian ini tegangan dan arus listrik yang digunakan adalah 12 volt dan 5 A. Dan jarak antar plat adalah 2 cm. Berdasarkan data hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat lihat bahwa katoda

aluminium memberikan hasil yang signifikan terhadap persentase pelucutan metil blue dibandingkan dengan katoda besi. Hal ini terlihat di dalam penelitian yang dihasilkan pada Gambar 3 antara susunan katoda Al-Al Al-Al dan Fe-Fe Fe-Fe dimana persentase pelucutan metil blue 86,35 % untuk Al-Al Al-Al lebih tinggi dibandingkan susunan Fe-Fe Fe-Fe sebanyak 75,33%. Selama proses elektrokoagulasi, beberapa reaksi terjadi dipermukaan elektroda, khususnya pelarutan aluminium yang terjadi melalui proses oksidasi dari anoda secara terus menerus untuk membentuk hidrogen dengan reaksi sebagai berikut (Benhadji, A., Ahmed, M. T., dan Maachi, R., 2011):



Pada anoda



Gambar 3. Hubungan antara PH terhadap konsentrasi methyl blue dan waktu proses elektrokoagulasi

Ketika menggunakan katoda Fe, pembentukan anion hidroxide dari Fe (Fe(OH)₄⁻) dibawah pH 14 tidak mengalami korosi sehingga laju pelucutan tidak terjadi maksimal. Dengan kata lain, laju pelucutan metil blue pada susunan Fe-Fe Fe-Fe hanya mencapai titik kesetimbangan 75,33%.

Dari hasil penelitian pada Gambar 3 untuk susunan elektroda Fe Al-Al-Al menghasilkan laju pelucutan methylen blue sebanyak 95,93% dan susunan elektroda Al Fe-Fe-Fe sebanyak 92,39 %. Laju pelucutan Fe Al-Al-Al lebih tinggi dibandingkan dengan Al Fe-Fe-Fe hal ini membuktikan bahwa keberadaan elektroda Al dapat meningkatkan laju pelucutan methylen blue didalam proses

elektrokoagulasi. Sebaliknya peningkatan jumlah katoda Fe yang digunakan dapat mengakibatkan waktu pencapaian proses kesetimbangan lebih cepat dibandingkan keberadaan katoda Al.

Pengaruh Kinetika Elektrokoagulasi Susunan Plat Elektrokoagulasi

Data kinetika dari hasil penelitian dianalisa dengan menggunakan model kinetika pada orde satu dan orde dua. Persamaan umum kinetika elektokoagulasi larutan metil blue adalah sebagai berikut:

$$\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^n \quad (4)$$

Kinetika elektrokoagulasi orde satu dapat dihitung dengan mengintegrasikan persamaan (4.4) dengan orde n = 1, sehingga persamaan (4) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = \ln C_{A0} - k_1 \cdot t \quad (5)$$

dimana C_{A0} adalah kosentrasi mula-mula (mg/L), C_A adalah kosentrasi yang tersisa setelah proses selama waktu t menit, k₁ adalah konstanta kinetika orde 1 (min⁻¹), dan t adalah waktu (menit).

Kinetika orde dua dihitung dengan n = 2, sehingga hasil integral persamaan (4) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} - k_2 \cdot t \quad (6)$$

Dimana k₂ adalah konstanta kinetika orde dua.

Konstanta kinetika orde satu (k₁) dapat diperkirakan dari hasil plotting data antara ln C_A/C_{A0} dan waktu t dapat dilihat pada Gambar 4 (a). Nilai konstanta dapat dihitung dengan regresi linier pada Gambar 4(a) yang terlihat pada Tabel 1. Dari data konstanta k₁ pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai k₁ pada susunan elektroda Fe-Fe Fe-Fe lebih besar dibandingkan dengan susunan elektroda Al-Al Al-Al. Nilai konstanta yang tertinggi adalah pada susunan elektroda Fe-Fe-Fe Al yaitu 0,07 min⁻¹.

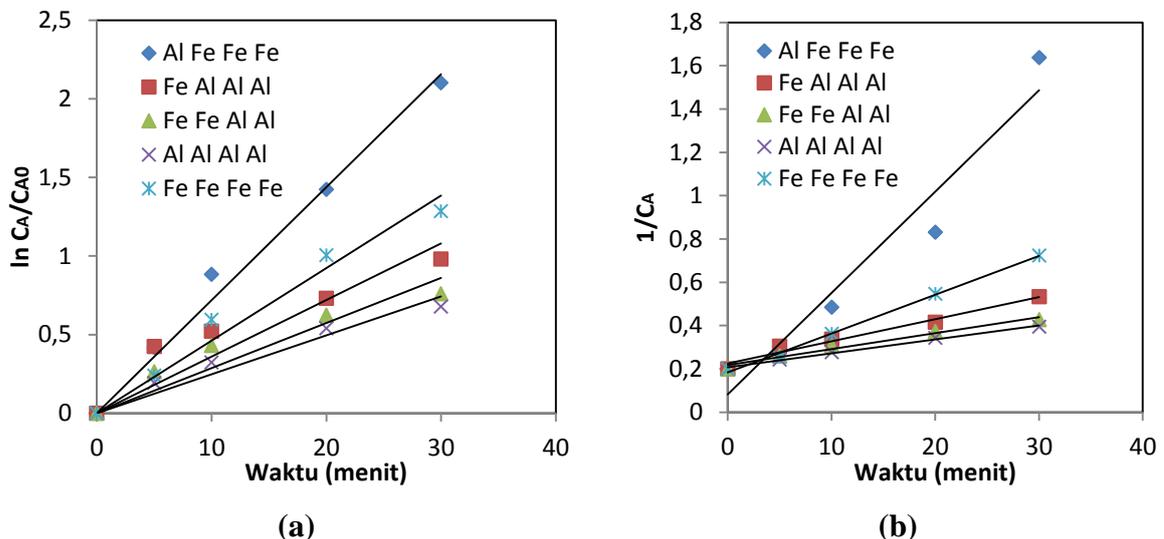
Konstanta kinetika orde dua (k₂) dapat diperkirakan dari hasil hasil plotting data antara 1/C_A dan waktu t dapat dilihat pada Gambar 4(b). Nilai konstanta dapat dihitung dengan regresi linier pada Gambar 4(b) yang terlihat pada Tabel 1. Dari data konstanta k₁ pada Tabel 1 menunjukkan

bahwa nilai k_1 pada susunan elektroda Fe-Fe Fe-Fe lebih besar dibandingkan dengan susunan elektroda Al-Al Al-Al. Nilai konstanta yang tertinggi adalah pada susunan elektroda Fe-Fe-Fe Al yaitu $0,05 \text{ min}^{-1}$.

Dari hasil ploting pada Gambar 4 (a) dan (b) disimpulkan didalam Tabel 1 menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi terjadi pada kinetika orde satu dan dua.

Tabel 1 Perbandingan Nilai k_1 dan k_2 pada Proses Kinetika Elektrokoagulasi

Susunan plat	ORDE 1		ORDE 2	
	k_1 (min^{-1})	R^2	k_2 (min^{-1})	R^2
Al-Al Al-Al	0.02	0.94	0,006	0,099
Fe-Fe Fe-Fe	0.05	0.97	0,018	0,98
Fe-Fe Al-Al	0.03	0.91	0,007	0,98
Al-Al Al-Fe	0.04	0.92	0,010	0,97
Fe-Fe Fe-Al	0.07	0.98	0,050	0,94



Gambar 4. Kinetika elektrokoagulasi Pada Variasi Susunan Elektroda. (a) Orde satu; (b) Orde dua

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Kombinasi susunan katoda dapat signifikan mempengaruhi proses elektrokoagulasi metil blue.
- Elektroda besi (Fe) dan Aluminium (Al) memiliki kemampuan untuk mengkoagulasi larutan metil blue selama proses elektrokoagulasi.
- Kecepatan laju penurunan konsentrasi mencapai kesetimbangan dari methylen blue di dalam larutan dipengaruhi oleh jumlah ion Fe yang terlepas selama proses elektrokoagulasi. Sehingga

semakin banyak jumlah elektroda Fe yang digunakan sebagai katoda semakin banyak ion Fe yang dilepaskan.

- Susunan elektorda yang terdiri dari Al Fe-Fe-Fe dan Fe-Fe-Fe-Fe waktu kesetimbangan dicapai pada menit ke 30.
- Keberadaan elektroda Al dapat meningkatkan laju pelucutan methylen blue didalam proses elektrokoagulasi. Dari hasil penelitian susunan elektroda Fe Al-Al-Al menghasilkan laju pelucutan methylen blue sebanyak 95,93% dan susunan elektroda Al Fe-Fe-Fe sebanyak 92,39 %..

- Proses elektrokoagulasi metil blue pada variasi katoda terjadi pada kinetika orde satu dan dua.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang telah mendanai penelitian Hibah Penelitian Internal sehingga terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- Alexandro M.M. Vargas, André L. Cazetta, Marcos H. Kunita, Taís L. Silva & Almeida, V. C. (2011) Adsorption of methylene blue on activated carbon produced from flamboyant pods (*Delonix regia*): Study of adsorption isotherms and kinetic models. *Chemical Engineering Journal*, 168, 722 - 730.
- Erol Alver & Metin, A. Ü. (2012) Anionic dye removal from aqueous solutions using modified zeolite: Adsorption kinetics and isotherm studies. *Chemical Engineering Journal*, 200 - 202, 59 - 67.
- Hatem A. Al-Aoh, Rosiyah Yahya, Maah, M. J. & Abas, M. R. B. (2013) Adsorption of methylene blue on

activated carbon fiber prepared from coconut husk: isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Desalination and Water Treatment*, 52, 1 - 13.

- Lin, S. H. & Peng, C. F. (1994) Treatment of textile wastewater by electrochemical method. *Water Research*, 28, 277-282.

- Singh, T. S. A. & Ramesh, S. T. (2014) n experimental study of CI Reactive Blue 25 removal from aqueous solution by electrocoagulation using Aluminum sacrificial electrode: kinetics and influence of parameters on electrocoagulation performance. *Desalination and Water Treatment*, 52, 2634 - 2642.

- Nandi, B. K., Dan Patel, S., (2013), Effects of Operational Parameters on the Removal of Brilliant Green Dye from Aqueous Solution by Electrocoagulation, *Arabian Journal of Chemistry*, doi: dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.11.032.