



Studi Kinetika Pada Proses Elektrokoagulasi Zat Warna Metilen Biru

Andrian Saputra^{*)}, Yuant Tiandho, Fitri Afriani

Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung

Jl. Kampus Peradapan, Kampus Terpadu Balunijuk Gd. Dharma Penelitian Lt 1, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia 33172

*E-mail korespondensi: andrianssaputra0514@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:

11 Agustus 2022

Revisi:

18 Desember 2022

Diterima:

19 Desember 2022

Kata Kunci:

Methylene Blue;
Electrocoagulation;
Decolorization;
Reaction Kinetics

Abstract

The main problem that is generally faced by textile industry players is related to the large amount of liquid waste produced. Liquid waste from methylene blue dye cannot be discharged directly into the water because it has a high solubility level and is *non-biodegradable*. Therefore, in this study, treatment of methylene blue dye waste was carried out using an easy-to-apply electrocoagulation method with a high level of efficiency for separating pollutant levels in wastewater. The next step is the decolorization of methylene blue dye waste with a given voltage variation of 20,25, and 30 volts and variations in the time used for 1,3,5,10,15,20,25, and 30 minutes. Based on the results of the study, shows that the greater the electric voltage and the longer the electrocoagulation process is carried out, the higher the decolorization value produced by the methylene blue dye waste. The results of the decolorization obtained were then continued by analyzing the reaction rate which showed a change in the concentration of methylene blue which was directly proportional to the given time. The reaction rate analysis was carried out using a reaction kinetics model, namely first order, second order, and BMG. Based on the values generated from the three reaction kinetics models, the BMG kinetic model is the best reaction kinetics model because it has a high coefficient determination (R^2) of 0,999.

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkembang cukup pesat di Indonesia dan mempunyai potensi untuk terus dikembangkan menjadi industri manufaktur terbesar di Indonesia [1]. Beberapa produk hasil industri tekstil di Indonesia seperti kain, benang, dan pakaian jadi tekstil yang terus mengalami peningkatan produksi [2]. Namun, peningkatan produksi tekstil juga diikuti oleh semakin tingginya jumlah limbah cair yang dihasilkan akibat proses produksi tersebut. Limbah cair hasil produksi tekstil menimbulkan kandungan residu pewarna sintesis yang bersifat *non-biodegradable* dan tingkat kelarutan yang tinggi [3] sehingga dapat mencemari lingkungan apabila dibuang langsung ke perairan sungai tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu [4]. Komponen utama yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air limbah tekstil yaitu adanya keberadaan bahan pewarna yang terdiri dari berbagai jenis senyawa kimia yang bersifat karsinogenik dan mutagenik bagi keberlangsungan hidup manusia [5] serta dapat mengganggu keseimbangan ekosistem di lingkungan akibat banyaknya

organisme yang mati [6]. Pewarna metilen biru merupakan salah satu jenis pewarna sintetis dari berbagai jenis pewarna yang sering digunakan dalam pewarnaan tekstil [7].

Berdasarkan penelitian terdahulu telah dilakukan berbagai metode secara fisika, kimia, dan biologi maupun kombinasi diantara metode tersebut dapat dilakukan dalam mengolah limbah cair tekstil yaitu seperti metode Ozonisasi [8], metode Fenton [9], dan metode Adsorpsi [10]. Namun, metode-metode tersebut memerlukan waktu yang cukup lama dan memerlukan biaya pengolahan yang cukup besar [11]. Oleh karena itu, diajukan suatu metode dalam pengolahan limbah cair tekstil yang tidak membutuhkan bahan kimia tambahan dalam pengolahannya dan biaya pengoperasian yang cukup murah dalam proses pengolahan limbah cair tekstil yaitu menggunakan metode Elektrokoagulasi [12].

Elektrokoagulasi merupakan suatu metode dalam pengolahan dan pemisahan limbah cair maupun air baku dengan mengalirkan arus listrik pada kedua plat elektroda yang berada didalam limbah tersebut [13]. Berbagai jenis limbah cair dapat dilakukan proses elektrokoagulasi untuk memperbaiki kualitas limbah cair tersebut seperti limbah industri karet [14], limbah cair *laundry* [15], limbah cair pabrik tahu [16], dan limbah tekstil pewarna [17].

Pada dasarnya penelitian elektrokoagulasi ini diterapkan pada skala laboratorium. Penggunaan air metilen biru dalam penelitian ini diperoleh dari serbuk metilen biru yang kemudian dilarutkan ke dalam air. Sehingga, pada masa yang akan datang dapat diterapkan untuk skala yang lebih besar seperti pada skala industri dalam pengolahan limbah tekstil pabrik. Pengembangan ini tentu saja memperhatikan berbagai aspek yang cukup kompleks seperti jumlah dan luasan plat yang digunakan, jarak antar plat, waktu pengoperasian, biaya penggunaan listrik yang digunakan, serta seberapa banyak terbentuknya flok pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung [18]. Hal ini secara langsung berpengaruh terhadap efisiensi dekolerasi pewarna tekstil tersebut. Proses elektrokoagulasi yang telah dilakukan kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis kinetika reaksi pada air metilen biru yang telah diolah untuk mengetahui penyisihan konsentrasi dalam air metilen biru dalam satuan waktu yang digunakan sebelum dan setelah elektrokoagulasi dilakukan [19]. Laju perubahan konsentrasi ini dapat dilakukan analisa dengan pemodelan reaksi yang digunakan seperti reaksi orde satu, reaksi orde dua, dan reaksi Behnajady–Modirshahla–Ghanbery (BMG) [20]. Parameter kinetika reaksi ini biasanya digunakan oleh pabrik besar dalam mengoperasikan bioreaktor dalam mengolah limbah cair yang dihasilkan [21]. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pemodelan kinetika reaksi pada beberapa jenis air pewarna seperti Tartrazin [22], pewarna Azo Metil Orange [23] dan pewarna Remazol [24]. Namun, penelitian tentang pemodelan kinetika reaksi pada air metilen biru dengan proses elektrokoagulasi belum banyak dilakukan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serbuk metilen biru, air keran, kertas label, kertas saring, dan *aquadest*. Adapun untuk alat yang digunakan seperti kaca, *power supply*, plat aluminium, kabel jumper, gelas *beaker*, gelas ukur, corong gelas, botol sampel, pipet tetes, dan UV-Vis Spectrophotometer.

Pembuatan Wadah dan Plat Elektrokoagulasi

Penelitian ini menggunakan wadah yang dirancang dan dibuat menggunakan kaca dengan ukuran 10×10×10 cm yang dapat menampung air metilen biru sejumlah 500 mL. Sedangkan plat elektroda terdiri dari 2 buah plat yang terbuat dari Aluminium dengan masing- masing berukuran 8×10 cm dengan diameter plat berukuran 2 cm.



Gambar 1. Skema proses elektrokoagulasi

Pembuatan Larutan Air Metilen Biru

Pembuatan larutan metilen biru dilakukan dengan mengencerkan sebanyak 0,052 gram serbuk metilen biru dengan air sebanyak 2000 ml kemudian diaduk selama 5 menit. Setelah itu, diperoleh larutan metilen biru untuk dilakukan proses elektrokoagulasi.

Pembuatan Larutan Standar Air Metilen Biru

Larutan standar metilen biru dibuat dari larutan metilen yang telah diperoleh kemudian ditambahkan dengan air keran dengan variasi perbandingan antara air metilen biru dan air keran yaitu 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, dan 70:30 dengan jumlah total larutan standar untuk satu variasi yaitu 20 ml.

Pengolahan Air Metilen Biru dengan Elektrokoagulasi

Penelitian ini menggunakan aliran listrik dari sumber tegangan listrik PLN dengan arus listrik DC dialirkan ke tiap plat Aluminium yang terdapat dalam bak elektrokoagulasi yang telah terisi air metilen biru sebanyak 500 ml dengan perlakuan tegangan sebesar 20, 25, dan 30 Volt. Jarak antar kedua plat yang digunakan dalam penelitian yaitu sebesar 2 cm dengan variasi waktu kontak yaitu 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Setelah pengoperasian dengan teknologi elektrokoagulasi selesai, dilakukan penyaringan dengan menggunakan filter berupa kertas saring. Setelah proses filtrasi selesai maka dilakukan pengujian UV-Vis Spektrofotometer.

Analisis Kinetika Reaksi dan Dekolorisasi pada Warna Air Metilen Biru

Tahapan terakhir yang dilakukan adalah pembuatan kurva kalibrasi untuk menentukan konsentrasi standar pada larutan metilen biru yang sebelumnya belum diketahui. Selanjutnya dianalisis hubungan antara konsentrasi dan absorbansi yang diperoleh dan dilakukan pemodelan dengan menggunakan kinetika reaksi orde satu, orde dua, dan metode Behnjady-Modirshahla-Ghanbery (BMG) pada air metilen biru setelah proses elektrokoagulasi. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan konsentrasi awal air metilen biru sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variasi pada waktu dan tegangan serta untuk mengetahui berapa besar nilai dekolourisasi/penghilangan kepekatan warna pada air metilen biru. Berikut persamaan dekolourisasi yang digunakan:

$$\%Dekolorisasi = \frac{C_{OMB} - C_{MB}}{C_{OMB}} \times 100\%$$

Keterangan:

E : Dekolorisasi (%)

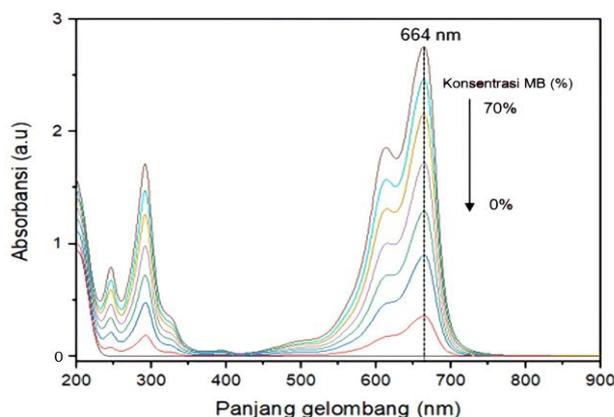
C_{MB} : Konsentrasi metilen biru setelah perlakuan (mg/l)

C_{OMB} : Konsentrasi metilen biru sebelum perlakuan (mg/l)

HASIL DAN PEMBAHASAN

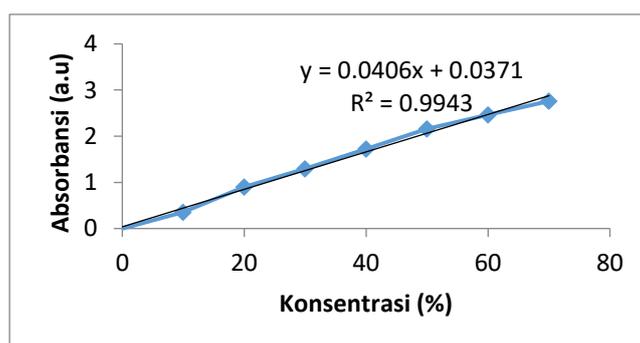
Pembuatan Kurva Kalibrasi Air Metilen Biru

Kurva absorbansi pada air metilen biru disajikan pada Gambar 2. Dalam kurva tersebut nilai tertinggi untuk kurva absorbansi berada pada panjang gelombang 664 nm. Nilai panjang gelombang yang dihasilkan juga sebanding dengan penelitian terdahulu yaitu sebesar 663 – 665 nm [20].



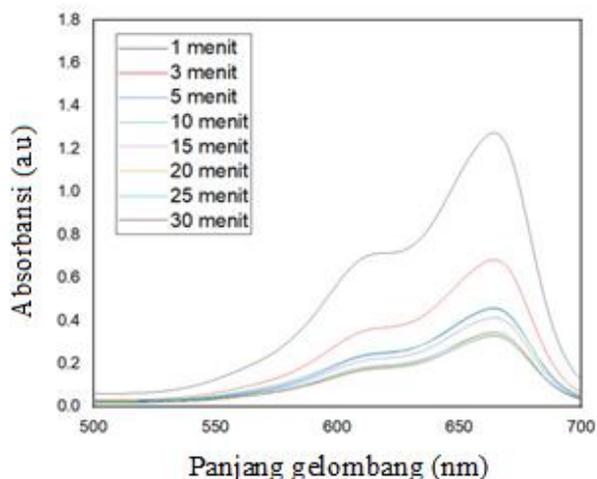
Gambar 2. Kurva absorbansi air metilen biru

Pada Gambar 3. disajikan hubungan antara konsentrasi air metilen biru dan absorbansi air metilen biru yang menunjukkan bahwa hubungan diantara keduanya bersifat linearitas dengan nilai koefisien determinasi r^2 sebesar 0,994 yang cukup tinggi. Koefisien determinasi r^2 menyatakan seberapa baik hubungan antara konsentrasi dan absorbansi larutan standar air metilen biru. Hasil ini menunjukkan bahwa apabila nilai koefisien determinasi mendekati satu maka dapat disimpulkan kurva larutan standar yang telah dibuat mempunyai nilai akurasi yang baik [25].



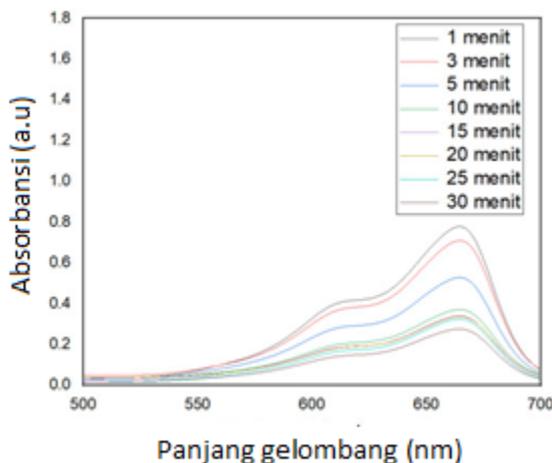
Gambar 3. Kurva kalibrasi konsentrasi dan absorbansi air metilen biru

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. merupakan kurva nilai absorbansi air metilen biru dengan tegangan 20 volt pada panjang gelombang sebesar 664 nm dengan variasi waktu yang diberikan yaitu 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit maka diperoleh nilai absorbansi secara berturut-turut yaitu 1.275, 0.684, 0.460, 0.454, 0.414, 0.348, 0.340, dan 0.329. Berdasarkan hasil ini semakin lama proses elektrokoagulasi dilakukan maka nilai absorbansi dari air metilen biru akan semakin menurun. Penurunan nilai absorbansi ini dipengaruhi oleh berkurangnya konsentrasi metilen biru dalam larutan tersebut.



Gambar 4. Kurva nilai absorbansi air metilen biru setelah proses elektrokoagulasi dengan tegangan 20 volt

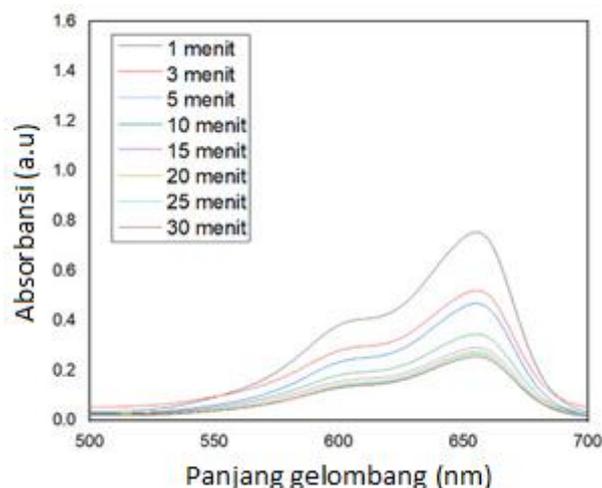
Selanjutnya, Gambar 5 menunjukkan variasi waktu proses elektrokoagulasi secara berturut-turut sebesar 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit pada panjang gelombang 664 nm dengan nilai absorbansi air metilen biru 0.778, 0.709, 0.527, 0.370, 0.339, 0.335, 0.323, dan 0.275. Adapun tegangan yang diberikan sebesar 25 volt. Penurunan nilai absorbansi pada air metilen biru berbanding lurus dengan semakin berkurang kadar konsentrasi pewarna metilen biru dalam air tersebut sehingga kepekatan warna air metilen biru setelah proses elektrokoagulasi berkurang [26].



Gambar 5. Kurva nilai absorbansi air metilen biru setelah proses elektrokoagulasi dengan tegangan 25 volt

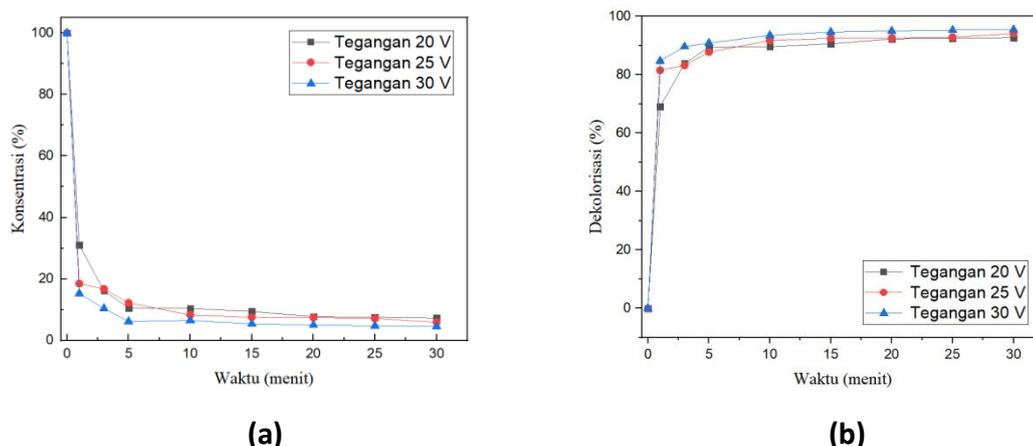
Gambar 6 menyajikan kurva absorbansi air metilen biru pada panjang gelombang 664 nm dengan waktu proses elektrokoagulasi selama 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit secara berturut-turut yaitu 0.648, 0.453, 0.404, 0.299, 0.253, 0.237, 0.228, dan 0.220 pada tegangan 30 volt. Hasil tersebut menunjukkan tingginya penurunan nilai absorbansi air metilen biru sebanding dengan besar tegangan dan lama waktu proses elektrokoagulasi yang diberikan. Nilai absorbansi pada air metilen biru pada tegangan 30 volt dan proses elektrokoagulasi selama 30 menit yaitu sebesar 0,220. Nilai absorbansi ini tergolong rendah karena pada proses elektrokoagulasi terjadi peristiwa reduksi dan oksidasi yang menyebabkan ion Al^{3+} dilepaskan di anoda dan bereaksi dengan ion OH^- yang kemudian membentuk $Al(OH)_3$ lalu terbentuk flok pada air metilen biru, kemudian katoda menghasilkan gas H_2 yang membawa pengotor setelah melalui

tahapan pengapungan/flotasi [27]. Selain itu, pada proses elektrokoagulasi juga terjadi gaya Van Der Waals yaitu terjadinya gaya tarik menarik antar kedua ion positif dan negatif yang akhirnya membentuk flok.



Gambar 6. Kurva nilai absorbansi air metilen biru setelah proses elektrokoagulasi dengan tegangan 30 volt

Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 7, nilai konsentrasi air metilen biru dan waktu proses elektrokoagulasi menunjukkan bahwa semakin lama proses elektrokoagulasi dan semakin besar tegangan listrik yang diberikan maka konsentrasi pewarna metilen biru dalam air akan semakin rendah [28].



Gambar 7. Nilai dari: (a) konsentrasi dan waktu air metilen biru setelah proses elektrokoagulasi dengan tegangan 20, 25, dan 30 volt ; (b) dekolorisasi air metilen biru

Kinetika Reaksi dan Dekolorisasi Air Metilen Biru

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari Gambar 7 konsentrasi pewarna metilen biru dalam air sudah mengalami penurunan pada waktu elektrokoagulasi 1 menit pertama, kemudian konsentrasi pewarnanya terus mengalami penurunan dengan variasi waktu yang diberikan sampai dengan 30 menit. Pada variasi waktu yang diberikan, proses elektrolisis berpengaruh dengan total muatan listrik yang dihasilkan sesuai dengan hukum Faraday 1 yang menyatakan bahwa banyaknya jumlah mol listrik yang diberikan pada elektroda sebanding dengan massa zat yang dihasilkan pada elektroda tersebut. Melalui penelitian ini massa zat yang dihasilkan yaitu zat pewarna dari metilen biru.

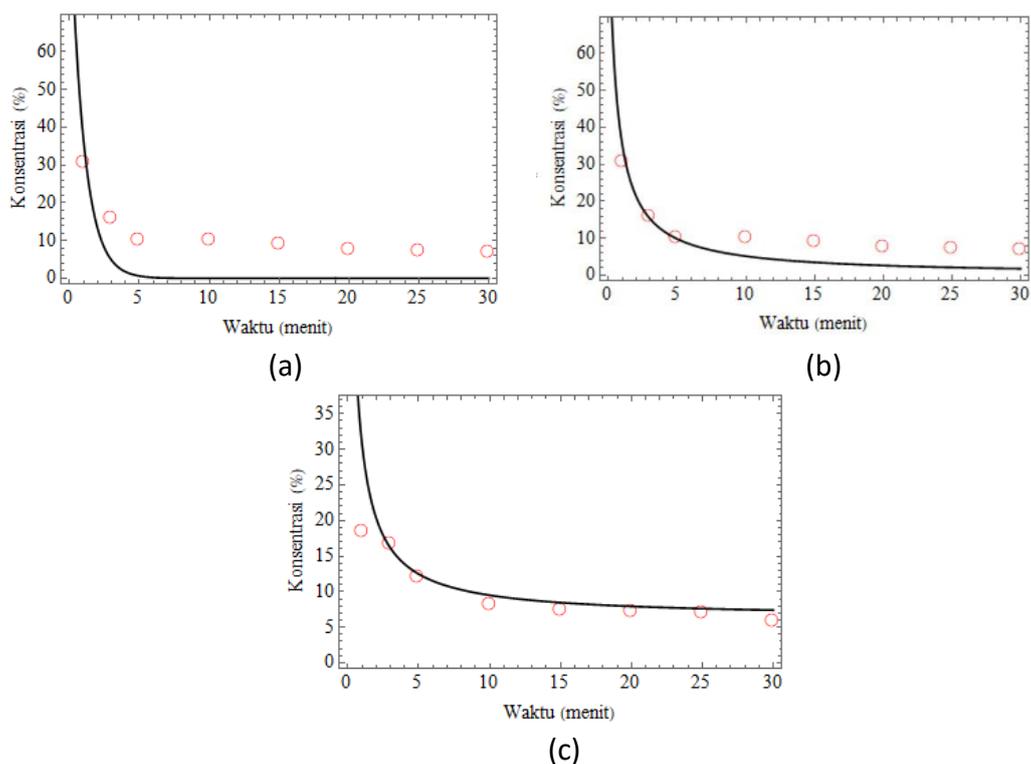
Adapun untuk dekolorisasi pada air metilen biru terus mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya tegangan listrik yang diberikan serta jumlah waktu elektrokoagulasi yang digunakan. Peningkatan dekolorisasi juga dipengaruhi oleh penggunaan plat alumunium yang dijadikan sebagai elektroda dalam proses elektrokoagulasi yang kemudian membentuk ion Al^{3+} dari anoda dan berikatan dengan ion OH^- sebagai katoda lalu mengendapkan partikel maupun kontaminan dalam air metilen biru. Berdasarkan peristiwa tersebut maka terbentuklah koagulan yang selanjutnya akan menempel pada kedua plat alumunium tersebut [29]. Beda potensial listrik yang diberikan yaitu sebesar 20, 25, dan 30 volt juga menentukan seberapa besar efisiensi dekolorisasi dari zat pewarna air metilen biru. Berdasarkan data yang diperoleh pada proses elektrokoagulasi dengan diberikan tegangan 30 volt, dekolorisasi pewarna metilen biru yang dihasilkan sebesar 84-95% bergantung pada variasi waktu yang diberikan yaitu untuk 1 – 30 menit proses elektrokoagulasi tersebut.

Adapun metode analisis yang digunakan dalam menentukan kinetika reaksi pada hasil dekolorisasi air metilen biru dengan menggunakan model kinetika reaksi orde satu, model kinetika reaksi orde dua, dan metode kinetika reaksi Behnajady–Modirshahla–Ghanbery (BMG).

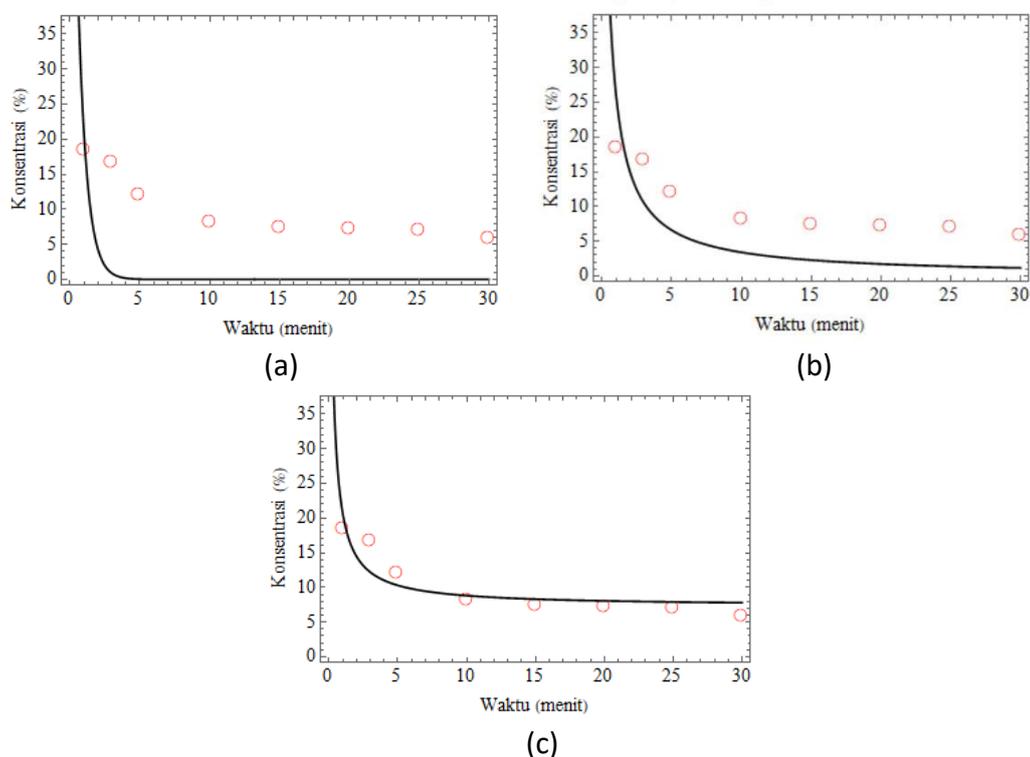
Tabel 1. Model kinetika beserta parameter dan koefisien determinasi untuk dekolorisasi air metilen biru

Model Kinetika	Parameter	Variasi Tegangan		
		20 Volt	25 Volt	30 Volt
Orde 1	k (min^{-1})	1,0108	1,5763	1,8279
	adj. R^2	0,946	0,938	0,969
Orde 2	k (min^{-1})	0,0053	0,0061	0,0087
	adj. R^2	0,912	0,922	0,919
BMG	m	0,3744	0,1806	0,1398
	b	1,0675	1,0786	1,0524
	adj. R^2	0,999	0,995	0,999

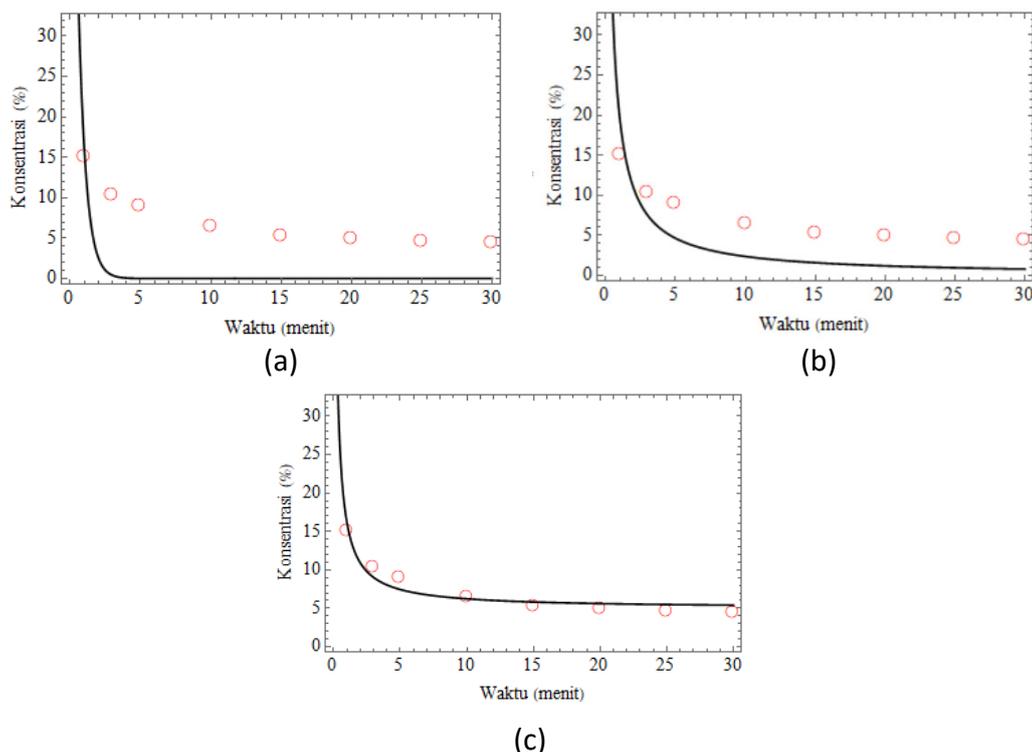
Berdasarkan Tabel 1 diketahui nilai dari parameter konstanta maupun nilai koefisien determinasi (adj. R^2) untuk masing-masing model kinetika yang digunakan. Pada model kinetika orde 1 memiliki nilai $k(\text{min}^{-1}) = 1.8279$, orde 2 memiliki nilai $k(\text{min}^{-1}) = 0.0087$ dan model BMG memiliki nilai konstanta tertinggi untuk $m = 0.3744$ dan nilai konstanta terendah untuk $b = 1.0524$. Berdasarkan nilai dari (adj. R^2) maka model kinetika yang paling mendekati 1 yaitu model kinetika BMG dengan nilai yang diperoleh sebesar 0,999 sehingga model ini merupakan yang terbaik dibandingkan dengan model kinetika yang lainnya dalam melakukan proses dekolorisasi pada air metilen biru dengan sistem elektrokoagulasi menggunakan plat alumunium. Hal ini dikarenakan pada model kinetika BMG memiliki dua konstanta karakteristik yaitu m dan b . Adapun konstanta m merupakan laju penyisihan metilen biru dan konstanta b merupakan sisa dari konsentrasi metilen biru tersebut. Berdasarkan Tabel 1, semakin besar tegangan listrik yang diberikan dalam proses elektrokoagulasi maka semakin kecil pula nilai konstanta m dan b yang diperoleh. Hal ini dipengaruhi oleh hasil dekolorisasi sebelumnya yaitu semakin tinggi dekolorisasi pada air metilen biru, air pewarna metilen biru yang dihasilkan mengalami penurunan pada kepekatan warna dalam air tersebut.



Gambar 8. Hasil kinetika reaksi dekolorisasi air metilen biru dengan tegangan 20 volt menggunakan model (a) orde 1 ; (b) orde 2 ; (c) BMG



Gambar 9. Hasil kinetika reaksi dekolorisasi air metilen biru dengan tegangan 25 volt menggunakan model (a) orde 1 ; (b) orde 2 ; (c) BMG



Gambar 10. Hasil kinetika reaksi dekolorisasi air metilen biru dengan tegangan 30 volt menggunakan model (a) orde 1 ; (b) orde 2 ; (c) BMG

Berdasarkan hasil perbandingan ketiga model kinetika reaksi yang dianalisis menggunakan regresi linier dengan hubungan antara konsentrasi dan waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 8, 9, dan 10, maka terdapat garis hitam dan lingkaran merah. Garis hitam menunjukkan hasil dari pemodelan yang digunakan yaitu orde 1,2, dan BMG. Sedangkan, lingkaran merah menunjukkan data hasil dari eksperimen yang telah dilakukan. Melalui penelitian yang telah dilakukan maka dibandingkan kesesuaian antara nilai pemodelan dan eksperimen. Berdasarkan ketiga metode yang telah dianalisis, maka model kinetika BMG merupakan model yang paling sesuai digunakan dikarenakan nilai pemodelan yang dihasilkan paling mendekati nilai eksperimen yang diperoleh. Oleh karena itu, untuk dekolorisasi air metilen biru dapat dilakukan dengan model BMG dengan metode yang digunakan yaitu elektrokoagulasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, besarnya tegangan listrik digunakan dan waktu elektrokoagulasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai dekolorisasi air metilen biru. Nilai dekolorisasi tertinggi air metilen biru diperoleh melalui proses elektrokoagulasi menggunakan tegangan listrik sebesar 30 volt dan waktu elektrokoagulasi selama 30 menit. Model kinetika BMG merupakan model yang paling sesuai digunakan dalam proses dekolorisasi pada air metilen biru dengan koefisien determinasi yang diperoleh yaitu sebesar 0,999.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. R. Arifatunnisa, P. Nursetyowati dan D. Marganinggrum, "Studi Pemanfaatan Limbah Bottom Ash Sebagai Adsorben Zat Warna Pada Industri Tekstil (Studi Kasus PT. TCI Kabupaten Bandung)," *Jurnal Reka Lingkungan*, pp. 35-46, 2021.
- [2] A. Riyardi, B. Setiaji, M. I. Hasmarini, T. dan E. Setyowati, "Analisis Pertumbuhan Industri Tekstil Dan Produk Tekstil Di Berbagai Provinsi Di Pulau Jawa," *University Research Colloquium*, pp. 16-25, 2015.
- [3] H. Ferkous, S. Merouani, O. Hamdaoui dan C. Petrier, "Persulfate-Enhanced Sonochemical Degradation Of Naphtol Blue Black In Water: Evidence Of Sulfate Radical Formation," *Elsevier*, pp. 1-35, 2017.
- [4] M. Aqil dan E. Sutariningsih, "Dekolorisasi Pewarna Indigosol Oleh Bakteri Tanah," dalam *Prosiding Symbion (Symposium On Biology Education)*, Yogyakarta, 2016.
- [5] H. M. F. D, C. L. N dan A. Rostika, "Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi Dengan Metode Elektroflotasi," *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, pp. 94-105, 2018.
- [6] Y. P. Sari, "Sintesis Dan Karakterisasi Lapisan Tipis TiO₂/N dengan Teknik Doctor Blade Dan Aplikasinya Sebagai Pendegradasi Methylene Blue," Universitas Jambi, Jambi, 2021.
- [7] L. Badriyah dan M. P. Putri, "Kinetika Adsorpsi Cangkang Telur Pada Zat Warna Metilen Biru," *Alchemy Journal Of Chemistry*, pp. 85-91, 2017.
- [8] Z. H. Herfiani, A. Rezagama dan M. Nur, "Peengolahan Limbah Cair Zat Warna Jenis Indigosol Blue (C.I VAT BLUE 4) Sebagai Hasil Produksi Kain Batik Menggunakan Metode Ozonisasi Dan Adsorpsi Arang Aktif Batok Kelapa Terhadap Parameter COD Dan Warna," *Jurnal Teknik Lingkungan*, pp. 1-10, 2017.
- [9] A. R. Priyadi dan N. R. J A R., "Penurunan Kadar COD Dan Warna Limbah Limbah Industri Tekstil Dengan Metode Elektro-Fenton," *Jurnal Envirotek*, pp. 14-23, 2019.
- [10] N. "Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintetis Dengan Metode Adsorpsi Dan Ultraviolet," *Jurnal Redoks*, pp. 44-50, 2018.
- [11] M. Rahmayanti, M. N. Prandini dan G. C. Santi, "Aplikasi Asam Humat Isolasi Tanah Gambut Kalimantan Sebagai Adsorben Zat Warna Naphtol Blue Black Dan Indigosol Blue: Studi Perbandingan Model Kinetika Dan Isoterm Adsorpsi," *Jurnal Sains Terapan*, pp. 90-98, 2020.
- [12] S. D. Nurdandi, F. Afriani dan Y. Tiandho, "Pengaruh Jarak Antar Plat Dalam Penjernihan Limbah Batik Cual Dengan Metode Elektrokoagulasi," dalam *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, Bangka Belitung, 2019.
- [13] B. L. Devy dan H. A.R., "Pengaruh Beda Potensial Dan Waktu Kontak Terhadap Penurunan Kadar COD Dan TSS Pada Limbah Batik Menggunakan Metode Elektrokoagulasi," *Jurnal Teknik Kimia USU*, pp. 63-69, 2021.
- [14] L. Hermida dan S. , "Pengolahan Limbah Cair Industry Karet Secara Elektrokoagulasi Dengan Rancangan Percobaan Taguchi Fractional Factorial," *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri*, pp. 1-5, 2020.
- [15] T. R. Kurniati dan M. Mujiburohman, "Pengaruh Beda Potensial Dan Waktu Kontak Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar COD Dan TSS Pada Limbah Cair Industry," dalam *Prosiding Bidang MIPA Dan Kesehatan*, SUrakarta, 2020.
- [16] G. H. Prosperity, N. R. Agustina, D. P. Wardhani dan D. Vitasari, "Penurunan COD Dan TSS Pada Limbah Cair Tahu Dengan Metode Elektrokoagulasi," dalam *Seminar Nasional Rekamaya Proses Industri Kimia*, Surakarta, 2021.

- [17] A. Sulistyaningsih dan T. A. R., "Peningkatan Efektivitas Elektrokoagulasi Dan Fotokatalis Pada Proses Degradasi Limbah Batik," *Jurnal Envirous*, pp. 9-15, 2020.
- [18] T. Hernaningsih, "Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Elektrokoagulasi," *Jurnal BPPT*, pp. 31-46, 2016.
- [19] Rusdianasari, "Model Kinetika Reaksi Adsorpsi Pada Proses Elektrokoagulasi," Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2015.
- [20] Y. Tiandho, F. Afriani, E. J. R. Lingga dan H. , "Kinetic Evaluation Of Methylene Blue Decolorization By CuO As A Fenton-Like Catalyst," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, pp. 1-6, 2021.
- [21] S. M. Rambe, "Penentuan Model Kinetika Reaksi Hidrolisis Pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Anaerobic Baffle Reactor," *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* , pp. 77-84, 2015.
- [22] A. Said, "Degradasi Pewarna Tartrazin Dengan Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO₂)," *Cokroaminoto Journal Of Chemical Science*, pp. 21-27, 2021.
- [23] J. P. Djawa, B. D. Tawa dan H. E. Wogo, "Degradasi Zat Warna Orange Metil Orange Menggunakan Besi Valensi Nol," dalam *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, Malang, 2018.
- [24] K. dan R. Sulistya, "Elektrodekolorisasi Zat Warna Remazol Violet 5R," *Jurnal Kaunia*, pp. 11-19, 2014.
- [25] W. P. Utomo, Z. V. Nugraheni, A. Rosyidah, O. M. Shafwah, L. K. Naashihah, N. Nurfitriani dan I. F. Ulfindrayani, "Penurunan Kadar Surfaktan Anionik dan Fosfat Dalam Air Limbah Laundry Di Kawasan Keputih Surabaya Menggunakan Karbon Aktif," *Jurnal Akta Kimia Indonesia*, pp. 127-140, 2018.
- [26] N. P. Setianingrum, A. Prasetya dan S. , "Pengurangan Zat Warna Remazol Red Rb Menggunakan Metode Elektrokoagulasi Secara Batch," *Jurnal Rekayasa Proses*, pp. 78-85, 2017.
- [27] G. H. Prosperity, N. R. Agustina, D. P. W. dan D. V. , "Penurunan COD dan TSS Pada Cair Limbah Tahu Dengan Metode ELEktrokoagulasi," dalam *Seminar NAsional Rekayasa Proses Industri Kimia*, Surakarta, 2021.
- [28] A. Hidayanti, U. I. Afifa, B. Ismuyanto dan J. , "Pengaruh Tegangan Elektrokagulasi dan Konsentrasi Awal Pewarna terhadap Persentase Penyisihan Remazol Red RB," *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, pp. 1-9, 2021.
- [29] E. R. Ananda, D. Irawan dan S. D. Wahyuni, "Pembuatan Alat Pengolah Limbah Cair Dengan Metode Elektrokoagulasi Untuk Industri Tahu Kota Samarinda," *Jurnal Teknologi Terpadu*, pp. 54-59, 2017.
- [30] Y. Tiandho, W. Sunanda, F. Afriani, A. Indriawati dan T. Handayani, "Accurate model for temperature dependence of solar cell performance according to phonon energy," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 55, no. 5, pp. 15-25, 2018.