

Analisis Statistik Pengaruh Dosis dan Konsentrasi Awal terhadap Efisiensi Penyisihan Warna *Congo Red* Menggunakan Koagulan Alami Biji Kelor (*Moringa oleifera*)

Meilinda Eka Fatmawati¹, Novi Eka Mayangsari^{1*}, Tarikh Azis Ramadani²

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya 60111

²Program Studi Teknik Bangunan Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya 60111

*E-mail : noviekam@ppns.ac.id

Abstrak

Industri tekstil merupakan salah satu sektor penghasil limbah cair yang mengandung zat warna bersifat toksik, karsinogenik, dan sulit terurai secara alami (*non-biodegradable*), seperti *congo red*. Zat warna ini dapat mencemari lingkungan perairan, sehingga diperlukan metode penanganan yang efektif. Salah satu metode sederhana dan ekonomis untuk menghilangkan zat warna adalah koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan berbasis bahan alami. Biji kelor (*Moringa oleifera*) memiliki potensi sebagai koagulan alami karena mengandung protein globulin yang bersifat polielektrolit kationik. Ekstrak biji kelor diperoleh melalui metode sonikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas koagulan alami dalam penyisihan warna *congo red* berdasarkan variasi dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna. Pengujian ini dilakukan pada larutan *congo red* konsentrasi 100,250,400, dan 550 ppm dengan pH awal 3, serta variasi dosis koagulan sebesar 5, 15, 25, 50, 75, 100, dan 125 mg/L. Analisis statistik menggunakan uji ANOVA dua arah (*Two-Way ANOVA*) menunjukkan bahwa variasi dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan warna *congo red*, dengan nilai p-value sebesar 0,001 ($p < 0,05$).

Keywords : Biji Kelor, *Congo red*, Sonikasi, Koagulasi-Flokulasi, ANOVA

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil di Indonesia terus berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan pakaian, tetapi pengelolaan limbah cair belum optimal. Proses pewarnaan dan pencetakan, yang menyumbang 15% - 20% dari total limbah cair dengan kandungan zat warna tinggi (Patel & Vashi, 2015). Salah satu zat warna yang sering digunakan adalah *congo red*, yang bersifat toksik, *non-biodegradable*, mencemari lingkungan, dan membahayakan kesehatan manusia, seperti menyebabkan sesak napas, diare, dan muntah (Suyata & Kurniasih, 2012). Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengurangi kandungan zat warna dalam limbah cair, seperti adsorpsi, elektrokoagulasi, ozonisasi, dan koagulasi-flokulasi. Di antara metode tersebut, koagulasi-flokulasi lebih banyak digunakan karena sederhana, efisien, dan ekonomis (Rusydi et al., 2017).

Proses koagulasi-flokulasi melibatkan penambahan koagulan untuk menetralkan muatan partikel koloid dan mempercepat penggabungan partikel menjadi flok yang dapat diendapkan. Koagulasi bertujuan mendestabilisasi partikel tersuspensi melalui penambahan koagulan kimia, sementara flokulasi menggabungkan mikroflok menjadi flok yang lebih besar melalui pengadukan lambat (Anggorowati, 2021; Bimantara, 2021). Penggunaan koagulan sintetis seperti tawas dan PAC memang efektif, namun berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dan kesehatan, seperti peningkatan keasaman air, akumulasi lumpur yang sulit terdegradasi, nefrotisitas, dan alzheimer (Zhang et al., 2019). Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian kini banyak berfokus pada pemanfaatan koagulan alami berbasis tanaman yang mengandung senyawa aktif seperti polisakarida, polifenol, dan protein (Lutfiah et al., 2023). Biji kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu bahan yang berpotensi sebagai koagulan alami karena mengandung protein globulin hingga 53% yang bersifat polielektrolit kationik dan mampu menjernihkan air limbah (Kristianto et al., 2019). Selain itu, juga ekonomis, mudah didapatkan, dan melimpah (Cojbasic et al., 2024).

Ekstraksi protein dari biji kelor umumnya dilakukan dengan metode *salt extraction* menggunakan larutan NaCl, karena ketersediaannya melimpah dan harga yang terjangkau (Bouchareb et al., 2021). Penggunaan metode ekstraksi sonikasi dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi serta mempertahankan stabilitas koagulan (Mohamed Noor et al., 2022).

Evaluasi efektivitas koagulan memerlukan pengujian statistik yang valid. Uji normalitas (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov) digunakan untuk memastikan distribusi data (Mohd Razali & Bee Wah, 2011), sementara uji homogenitas variansi (Levene, Bartlett) memastikan kesamaan variansi antar perlakuan (Usmadi, 2020). Jika kedua syarat tersebut terpenuhi, maka dapat dilakukan uji analisis variansi (ANOVA) guna mengetahui pengaruh

signifikan antar perlakuan. Penelitian ini menggunakan ANOVA dua arah (*Two-Way ANOVA*) untuk mengidentifikasi pengaruh dan interaksi antara dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna terhadap efisiensi penyisihan *congo red* (Oliver-Rodríguez & Wang, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas ekstrak biji kelor (*Moringa oleifera*) yang diperoleh melalui proses ekstraksi menggunakan larutan NaCl dan metode sonikasi sebagai koagulan alami dalam penyisihan warna *congo red*. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis secara statistik pengaruh dosis koagulan, konsentrasi awal zat warna, serta interaksi antara keduanya terhadap efisiensi penyisihan.

2. METODE

2.1 Pengujian Statistik

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh dan interaksi antara dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna terhadap efisiensi penyisihan *congo red* menggunakan uji ANOVA dua arah (*Two-Way ANOVA*). Sebelum uji ANOVA dilakukan, data diuji terhadap dua asumsi utama, yaitu:

1. Uji normalitas dilakukan menggunakan metode Shapiro–Wilk dan Kolmogorov–Smirnov. Data dikatakan berdistribusi normal jika nilai *p-value* > 0,05 (Mohd Razali & Bee Wah, 2011).
2. Uji homogenitas dilakukan menggunakan uji Levene dan Bartlett. Data dianggap memenuhi asumsi homogenitas jika nilai *p-value* > 0,05, yang menunjukkan varians antar kelompok tidak berbeda secara signifikan (Usmadi, 2020).

Setelah kedua asumsi terpenuhi, uji ANOVA dua arah (*Two-Way ANOVA*) dilakukan dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ untuk menguji pengaruh individu dan interaksi antara dosis koagulan serta konsentrasi awal zat warna terhadap efisiensi penyisihan *congo red*. Hasil dianggap signifikan apabila *p-value* < 0,05 (Oliver-Rodríguez & Wang, 2015). Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 25.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Statistik

Data hasil pengujian terlebih dahulu dianalisis secara statistik untuk menguji validitas pengaruh masing-masing variabel terhadap efisiensi penyisihan warna *congo red*. Uji statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna menggunakan uji ANOVA dua arah (*Two-Way ANOVA*). Sebelumnya, data diuji normalitas dan homogenitasnya guna memastikan bahwa data berdistribusi normal dan memiliki variansi yang homogen, sehingga memenuhi asumsi dasar analisis ANOVA (Mohd Razali & Bee Wah, 2011; Usmadi, 2020)). Hasil pengujian statistik dapat dilihat pada Tabel 1-4.

Tabel 1 Hasil uji normalitas variasi dosis koagulan

Dosis Koagulan	Nilai Sig.	Batas Sig.	Keterangan
5 mg/L	0,750	>0,05	Data berdistribusi normal
15 mg/L	0,661	>0,05	Data berdistribusi normal
25 mg/L	0,606	>0,05	Data berdistribusi normal
50 mg/L	0,162	>0,05	Data berdistribusi normal
75 mg/L	0,371	>0,05	Data berdistribusi normal
100 mg/L	0,395	>0,05	Data berdistribusi normal
125 mg/L	0,340	>0,05	Data berdistribusi normal

Tabel 1 hasil uji normalitas untuk variasi dosis koagulan terhadap efisiensi penyisihan *congo red* menunjukkan nilai signifikansi >0,05 pada seluruh data yang diperoleh, sehingga dapat disimpulkan data berdistribusi secara normal.

Tabel 2 Hasil uji normalitas variasi konsentrasi *congo red*

Konsentrasi Congo Red	Nilai Sig.	Batas Sig.	Keterangan
100 ppm	0,501	>0,05	Data berdistribusi normal
250 ppm	0,337	>0,05	Data berdistribusi normal
400 ppm	0,178	>0,05	Data berdistribusi normal
550 ppm	0,200	>0,05	Data berdistribusi normal

Tabel 2 hasil uji normalitas untuk variasi konsentrasi *congo red* terhadap efisiensi penyisihan *congo red* menunjukkan nilai signifikansi >0,05 pada seluruh data yang diperoleh, sehingga dapat disimpulkan data berdistribusi secara normal.

Tabel 3 Hasil Uji Homogenitas

Variabel	Nilai Sig.	Batas Sig.	Keterangan
Dosis Koagulan	0,832	>0,05	Data berdistribusi secara homogen
Konsentrasi Congo Red	0,470	>0,05	Data berdistribusi secara homogen

Tabel 3 hasil uji homogenitas terhadap efisiensi penyisihan *congo red* menunjukkan nilai signifikansi >0,05 pada seluruh data yang diperoleh, sehingga dapat disimpulkan data tersebut homogen dan memiliki variansi yang sama.

Tabel 4 Hasil Uji ANOVA

Variabel	Nilai Sig.	Batas Sig.	Keterangan
Dosis Koagulan	0,001	< 0,05	H _{0a} = ditolak, H _{1a} = diterima
Konsentrasi Congo Red	0,001	< 0,05	H _{0b} = ditolak, H _{1b} = diterima

Tabel 4 menunjukkan bahwa hipotesis nol (H₀) untuk masing-masing variabel bebas ditolak, sementara hipotesis (H₁) diterima. Penolakan H₀ mengindikasikan bahwa variabel bebas memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel terikat, yaitu efisiensi penyisihan *congo red*. Dengan demikian, hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna secara signifikan mempengaruhi efisiensi penyisihan *congo red*. Nilai signifikansi (p-value) untuk masing-masing variabel bebas adalah 0,001. Nilai ini berada di bawah ambang batas signifikansi 0,05 yang berarti kedua variabel tersebut berpengaruh secara nyata terhadap efisiensi penyisihan *congo red*.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa biji kelor (*Moringa oleifera*) efektif digunakan sebagai koagulan alami dalam proses koagulasi-flokulasi untuk penyisihan zat warna *congo red*. Sebelum dilakukan analisis statistik, data diuji terlebih dahulu menggunakan uji normalitas dan homogenitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data berdistribusi normal dan memiliki variansi yang homogen, sehingga memenuhi asumsi dasar untuk analisis ANOVA. Berdasarkan uji statistik ANOVA dua arah (*Two-Way ANOVA*), diperoleh bahwa variasi dosis koagulan dan konsentrasi awal zat warna memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi penyisihan *congo red*, dengan nilai signifikansi $p = 0,001 (< 0,05)$.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anggorowati, A. A. (2021). Serbuk Biji Buah Semangka Dan Pepaya Sebagai Koagulan Alami Dalam Penjernihan Air. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal Of Applied Chemistry)*, 9(1), 18–23.
- Bimantara, H. A. (2021). Efisiensi Removal Cod, Tss Dan Fluoride Pada Limbah Cair Industri Asam Fosfat Dengan Metode Elektrokoagulasi. *Inisiasi*, 137–152. <https://doi.org/10.59344/Inisiasi.V10i2.103>
- Bouchareb, R., Derbal, K., & Benalia, A. (2021). Optimization Of Active Coagulant Agent Extraction Method From Moringa Oleifera Seeds For Municipal Wastewater Treatment. *Water Science And Technology*, 84(2), 393–403. <https://doi.org/10.2166/Wst.2021.234>
- Cojbasic, S., Turk Sekulic, M., Pap, S., Taggart, M. A., & Prodanovic, J. (2024). Nature-Based Solutions For Wastewater Treatment: Biodegradable Freeze-Dried Powdered Bio-Flocculant. *Journal Of Water Process Engineering*, 65(March), 105863. <https://doi.org/10.1016/J.Jwpe.2024.105863>
- Kristianto, H., Prasetyo, S., & Sugih, A. K. (2019). Pemanfaatan Ekstrak Protein Dari Kacang-Kacangan Sebagai Koagulan Alami: Review. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), 65. <https://doi.org/10.22146/Jrekpros.46292>
- Lutfiah, P. A., Novitrie, N. A., & Mayangsari, E. (2023). Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan COD pada Limbah Laundry. 6(2623), 247–251.
- Mohamed Noor, M. H., Mohd Azli, M. F. Z., Ngadi, N., Mohammed Inuwa, I., Anako Opotu, L., & Mohamed, M. (2022). Optimization Of Sonication-Assisted Synthesis Of Magnetic Moringa Oleifera As An Efficient Coagulant For Palm Oil Wastewater Treatment. *Environmental Technology And Innovation*, 25, 102191. <https://doi.org/10.1016/J.Eti.2021.102191>
- Mohd Razali, N., & Bee Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 13–14.
- Oliver-Rodríguez, J. C., & Wang, X. T. (2015). Non-parametric three-way mixed ANOVA with aligned rank tests. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 68(1), 23–42. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12031>
- Patel, H., & Vashi, R. T. (2015). Characterization And Treatment Of Textile Wastewater. *Characterization And Treatment Of Textile Wastewater*, March, 1–174. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02395-7>
- Rusydi, A. F., Suherman, D., & Sumawijaya, N. (2017a). Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi-Flokulasi Dengan Menggunakan Lempung Sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi. *Arena Tekstil*, 31(2), 105–114.
- Suyata, S., & Kurniasih, M. (2012). Degradasi Zat Warna Kongo Merah Limbah Cair Industri Tekstil Di Kabupaten Pekalongan Menggunakan Metode Elektrodecolorisasi. *Molekul*, 7(1), 53. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2012.7.1.106>
- Usmadi, U. (2020). Pengujian Persyaratan Analisis (Uji Homogenitas Dan Uji Normalitas). *Inovasi Pendidikan*, 7(1), 50–62. <https://doi.org/10.31869/ip.v7i1.2281>
- Zhang, X., & Liu, L. (2019). Sodium Chloride As An Effective Solvent For Oil Extraction From Moringa Seeds. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 67(14), 3972–3978.