

Pengaruh Waktu Pengendapan dan Konsentrasi Awal *Congo Red* Terhadap Efisiensi Penyisihan Menggunakan Biokoagulan Magnetik Petai Cina dengan Metode ANOVA *One Way*

Avilyan Fahrudin Churmelia¹, Nora Amelia Novitrie^{2*}, dan Novi Eka Mayangsari¹

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

²Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

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

Abstrak

Pertumbuhan industri tekstil di Indonesia berdampak pada peningkatan limbah zat warna sintesis seperti Congo red yang bersifat toksik dan sulit terurai. Salah satu metode penanganan yang efektif dan ekonomis adalah koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan berbasis biomassa. Ekstrak protein dari petai cina mengandung gugus fungsional bermuatan positif yang mampu menetralkan partikel koloid, sedangkan Fe₃O₄ memberikan sifat magnetik untuk mempermudah pemisahan. Penelitian ini mengkaji efisiensi penyisihan Congo red menggunakan biokoagulan magnetik berbasis ekstrak biji petai cina (*Leucaena leucocephala*) yang dimodifikasi dengan Fe₃O₄ melalui metode sonikasi. Pengujian dilakukan terhadap variasi waktu pengendapan 6, 12, 18, 24, dan 30 menit dan konsentrasi awal *congo red* 5, 10, 20, 40, 80, 100, dan 150 ppm yang diatur pada pH 3, menggunakan dosis koagulan 150 ppm. Hasil uji spektrofotometri UV-Vis menunjukkan efisiensi tertinggi sebesar 99,4% pada waktu pengendapan 18 menit dan konsentrasi awal 100 ppm. Uji ANOVA *one-way* mengonfirmasi bahwa kedua variabel memiliki pengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap efisiensi penyisihan zat warna.

Keywords: ANOVA, Biji Petai Cina, *Congo Red*, Fe₃O₄, Koagulasi-Flokulasi

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri di Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan, khususnya pada sektor tekstil. Berdasarkan data Badan Pusat Statistika pada tahun 2023, ekspor tekstil di Indonesia mencapai 1,49 juta ton. Dalam proses produksinya, industri tekstil setiap tahunnya menggunakan lebih dari 700.000 ton zat pewarna (Wang *et al.*, 2018). Salah satu pewarna yang sering digunakan adalah *congo red*, pewarna sintesis ini tidak ramah lingkungan karena tidak dapat terurai secara hayati, bersifat toksik, dan karsinogenik. Berbagai metode telah digunakan untuk menurunkan konsentrasi zat warna dalam limbah industri tekstil meliputi filtrasi membran, pertukaran ion, koagulasi-flokulasi, elektrokoagulasi dan metode adsorpsi. Metode yang sering digunakan untuk mengurangi kandungan zat warna adalah koagulasi-flokulasi. Metode ini memiliki mekanisme dan prosedur sederhana, biaya terjangkau, dan efektif mengurangi konsentrasi zat warna (Rusydi *et al.*, 2017).

Koagulan yang umum digunakan saat ini berasal dari bahan kimia seperti tawas (Al₂(SO₄)₃) dan poli alumunium klorida (PAC). Namun, penggunaan koagulan kimia secara terus-menerus dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan karena sifatnya yang sulit terurai. Maka dari itu, dibutuhkan alternatif koagulan yang lebih ramah lingkungan, salah satunya dengan memanfaatkan biomassa biji petai cina (*Leucaena leucocephala*) yang diekstraksi untuk dijadikan biokoagulan alami yang biodegradable. Petai cina (*Leucaena leucocephala*) merupakan tanaman yang memiliki potensi sebagai koagulan alami. Tanaman ini diketahui mengandung protein dalam jumlah tinggi, yakni sekitar 57-64% dari berat kering, dimana sebanyak 43,5% merupakan globulin, yaitu jenis protein yang dapat larut dalam larutan garam (Kristanda *et al.*, 2021).

Penggunaan koagulan alami telah mengalami berbagai pengembangan untuk meningkatkan efektivitas kemampuan koagulan. Salah satu pengembangan yang dilakukan adalah dengan mensintesis koagulan alami bersama nanopartikel Fe₃O₄ menjadi koagulan magnetik. Nanopartikel magnetik sangat efektif untuk menghilangkan kontaminan organik dan anorganik karena memiliki ukuran kecil, toksisitas yang rendah, serta sifat magnetik dengan saturasi tinggi (Amanulloh *et al.*, 2023). Selain memanfaatkan gaya gravitasi, proses sedimentasi dengan medan magnet mampu mempercepat pengendapan flok-flok yang terbentuk (Dos Santos *et al.*, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara statistik pengaruh variasi waktu pengendapan dan konsentrasi awal terhadap efisiensi penyisihan zat warna *congo red* menggunakan metode koagulasi. Analisis dilakukan menggunakan uji ANOVA *one way* untuk menentukan pengaruh signifikan variasi waktu pengendapan dan konsentrasi awal *congo red* terhadap hasil efisiensi penyisihan.

2. METODOLOGI

2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu alu, blender, *jar test*, *glassware*, hotplate, oven, *magnetic stirrer*, ayakan 80 *mesh*, sonikator, kertas saring, pH indikator, dan spektrofotometri Uv-Vis. Bahan yang digunakan yaitu biji petai cina, *aquades*, NaOH (*merck*), HCl (*merck*), NaCl (*merck*), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (*merck*), $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (*merck*), *congo red*, dan Etanol 96%.

2.2 Pembuatan Ekstrak Koagulan Alami

Biji petai cina dikupas kulitnya dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama ± 4 jam. Setelah biji kering, kemudian dilakukan penghalusan menggunakan blender hingga menjadi serbuk dan dihaluskan diayak menggunakan ayakan 80 *mesh*. Selanjutnya, menyiapkan larutan NaCl 1 M sebanyak 1000 mL dan mencampurkan 50 gram serbuk biji petai cina lalu di ekstraksi menggunakan sonikator selama 10 kHz selama 45 menit. Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam botol vial menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm selama 10 menit yang bertujuan memisahkan cairan dengan bubuk yang sudah ter ekstrak. Larutan yang tersaring merupakan yang digunakan sebagai koagulan.

2.3 Pembuatan Koagulan Magnetik

Pembuatan koagulan magnetik dilakukan dengan cara melarutkan 1,11 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 0,53 gram $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (dengan rasio molar 2:1) ke dalam 100 mL *aquades* di dalam erlenmayer 250 mL. Larutan ini kemudian dipanaskan menggunakan hot plate selama 10 menit pada suhu 80°C . Setelah itu, sebanyak 25 mL ekstrak garam dari petai cina (*Leucaena leucocephala*) ditambahkan secara perlahan tetes demi tetes, hingga campuran menunjukkan perubahan warna dari kuning ke coklat. Proses reaksi dilanjutkan dengan pengadukan konstan selama 3 jam pada suhu 80°C . Selanjutnya, larutan presipitan NaOH 5% diteteskan secara perlahan hingga pH mencapai 10 dimana warna campuran bervariasi dari coklat hingga hitam. Setelah pendinginan ke suhu ruang, endapan hitam Fe_3O_4 @ *Leucaena* dipisahkan, kemudian dicuci tiga kali dengan *aquades* dan sekali dengan etanol. Keringkan menggunakan metode *freeze drying* selama 29 jam pada suhu -4°C . Serbuk hasil pengeringan yang kemudian digunakan sebagai koagulan magnetik (Karami *et al.*, 2024).

2.4 Pembuatan Larutan Artifisial Congo Red

Pembuatan larutan *congo red* dimulai dengan menyiapkan larutan induk dengan konsentrasi 1000 ppm, yaitu dengan melarutkan 1 gram *congo red* ke dalam *aquades* hingga volume mencapai 1000 mL. Kemudian membuat larutan dengan konsentrasi 5, 10, 20, 40, 80, 100, dan 150 ppm dari larutan induk yang diencerkan dengan *aquades*. Pada pengujian pengaruh waktu pengendapan menggunakan konsentrasi zat warna *congo red* 100 ppm.

2.5 Pelaksanaan Jar Test

Proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan metode *Jar Test* untuk membandingkan pengaruh waktu pengendapan dan pengaruh konsentrasi awal zat warna *congo red*. Sebanyak 250 mL sampel air limbah artifisial dimasukkan ke dalam gelas *beaker*, kemudian nilai pH awal disesuaikan hingga mencapai pH 3. Percobaan dilakukan dengan dosis koagulan 150 ppm, menggunakan kecepatan pengadukan cepat 160 rpm selama 3 menit, kecepatan pengadukan lambat 45 rpm selama 30 menit, Serta percobaan waktu pengendapan selama 6, 12, 18, 24, dan 30 menit.

2.6 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan uji proses koagulasi menggunakan koagulan magnetik biji petai cina pada limbah artifisial *congo red* dengan 2 variasi pengaruh waktu pengendapan (6, 12, 18, 24, dan 30 menit) dan pengaruh konsentrasi awal (5, 10, 20, 40, 80, 100, dan 150 ppm).

2.7 Pengujian Normalitas

Uji normalitas adalah merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi apakah distribusi data dalam suatu kelompok atau variabel mengikuti pola distribusi normal atau tidak. Tujuan dari uji ini adalah untuk memastikan bahwa data yang digunakan memenuhi asumsi normalitas sebelum dilakukan analisis statistik lebih lanjut (Zulkifli *et al.*, 2025). Apabila nilai *p-value* yang diperoleh melebihi batas signifikansi 0,05, maka menyatakan bahwa data berdistribusi normal. Uji ini penting sebagai prasyarat sebelum melakukan analisis statistik lanjutan seperti ANOVA.

2.8 Pengujian Homogenitas

Uji homogenitas merupakan metode statistik yang digunakan untuk menunjukkan bahwa dua atau lebih kelompok data sampel berasal dari populasi dengan varians yang setara. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui apakah beberapa kelompok data dalam suatu penelitian memiliki tingkat variasi yang serupa atau tidak (Zulkifli *et al.*, 2025). Homogenitas mengindikasikan bahwa kumpulan data yang dianalisis memiliki sifat

atau karakteristik yang sejenis.

2.9 Pengujian ANOVA One Way

Pengujian ANOVA *One Way* digunakan untuk membandingkan rata-rata dari dua atau lebih kelompok yang didasarkan pada satu variabel bebas. Tujuannya adalah untuk menguji hipotesis apakah semua kelompok tersebut memiliki nilai rata-rata yang setara (Nainggolan *et al.*, 2025). Jika hasil analisis menghasilkan nilai *p-value* lebih besar dari tingkat signifikansi 0,05, maka hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak terdapat perbedaan signifikan antar rata-rata kelompok dapat diterima. Sebaliknya, apabila *p-value* kurang dari 0,05, maka H_0 ditolak, yang mengindikasikan adanya perbedaan signifikan antar kelompok (Dewi *et al.*, 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan sebelum uji homogenitas dan uji ANOVA untuk memastikan data hasil penelitian memiliki distribusi normal. Distribusi data dikatakan normal apabila nilai signifikansi (*p-value*) lebih besar dari 0,05 dan sebaliknya dikategorikan tidak normal jika *p-value* kurang dari 0,05. Uji normalitas ini menggunakan metode kolmogorov-smirnov yang berfungsi untuk mengevaluasi kesesuaian distribusi data sampel dengan distribusi normal. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas

No	Variabel Terikat	Variabel Bebas	Persentase penyisihan (%)	Nilai Sig.	Batas Sig.	Keterangan
Waktu Pengendapan						
1.	Efisiensi Penyisihan <i>Congo Red</i>	6 menit	96.2	0.780	>0.05	Normal
		12 menit	97.8	0.843	>0.05	Normal
		18 menit	99.4	0.637	>0.05	Normal
		24 menit	99.31	1.000	>0.05	Normal
		30 menit	99.33	0.780	>0.05	Normal
Konsentrasi Awal						
2.	Efisiensi Penyisihan <i>Congo Red</i>	5 ppm	98.7	0.637	>0.05	Normal
		10 ppm	99.06	1.000	>0.05	Normal
		20 ppm	99.1	0.463	>0.05	Normal
		40 ppm	99.2	1.000	>0.05	Normal
		80 ppm	99.3	0.363	>0.05	Normal
		100 ppm	99.4	1.000	>0.05	Normal
		150 ppm	97.6	0.780	>0.05	Normal

Berdasarkan Tabel 1, seluruh variasi waktu pengendapan dan konsentrasi awal *congo red* menunjukkan nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara distribusi data efisiensi penyisihan zat warna *congo red* dengan distribusi normal (Dewi *et al.*, 2023). Dapat disimpulkan bahwa data pada seluruh variasi waktu pengendapan dan konsentrasi awal dianggap terdistribusi normal. Hasil ini sesuai dengan kondisi fisik yang terjadi selama proses koagulasi-flokulasi. Distribusi normal menunjukkan bahwa proses pembentukan flok berlangsung stabil, dimana partikel-partikel koloid berinteraksi dan mengendap secara seimbang. variasi data penyisihan cenderung terkumpul di sekitar nilai rata-rata tanpa adanya perbedaan mencolok. Hal ini menegaskan bahwa mekanisme pengendapan berjalan wajar, sehingga hasil penelitian dapat dilanjutkan ke uji ANOVA.

3.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah data pada masing-masing kelompok perlakuan memiliki varians yang seragam. Terdapat beberapa metode yang umum digunakan untuk menguji asumsi homogenitas ini, salah satunya adalah uji Levene. Metode Levene digunakan untuk menguji kesamaan varians beberapa populasi yang cocok digunakan untuk uji homogenitas. Hasil uji homogenitas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Homogenitas

Variabel	Nilai Sig.	Batas Sig.	Keterangan
Waktu Pengendapan	0.473	>0.05	Homogen
Konsentrasi Awal	0.269	>0.05	Homogen

Berdasarkan hasil Tabel 2, diperoleh nilai Levene untuk variabel pengendapan sebesar 0,473 dan variabel konsentrasi awal sebesar 0,269. Nilai signifikansi kedua variabel tersebut lebih besar dari batas signifikansi 0,05, yang berarti data dari masing-masing kelompok memiliki varians yang seragam dan homogen (Dewi *et al.*, 2023).

Dengan demikian hasil homogenitas telah terpenuhi, sehingga analisis dapat dilanjutkan.

3.3 Uji ANOVA *One Way*

Setelah data memenuhi syarat distribusi normal melalui uji normalitas dan memiliki varians yang seragam berdasarkan uji homogenitas. Tahap berikutnya adalah melakukan uji ANOVA *one way*. Uji ANOVA ini digunakan untuk mengetahui pengaruh waktu pengendapan dan konsentrasi awal terhadap efisiensi penyisihan zat warna *Congo red*. Hasil uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji ANOVA *One Way*

Variabel	Nilai Sig.	Batas Sig.	Keterangan
Waktu Pengendapan	0.001	<0.05	H _{0a} = ditolak H _{1a} = diterima
Konsentrasi Awal	0.001	<0.05	H _{0a} = ditolak H _{1a} = diterima

Uji ANOVA dilakukan setelah uji normalitas dan homogenitas. Berdasarkan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai signifikansi untuk kedua variabel sama-sama sebesar 0,001, yang berarti lebih kecil dari batas signifikansi 0,05 (Baatache *et al.*, 2025). Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari waktu pengendapan dan konsentrasi awal terhadap efisiensi penyisihan zat warna *congo red*. Hipotesis nol (H_{0a}) ditolak dan hipotesis alternatif (H_{1a}) diterima, yang menyatakan bahwa kedua variabel tersebut secara statistik memengaruhi hasil proses koagulasi.

Pengaruh ini terlihat pada kondisi optimum, yaitu waktu pengendapan 18 menit dengan konsentrasi awal 100 ppm yang menghasilkan efisiensi 99,4%. Pada konsentrasi rendah 5–20 ppm, flok yang terbentuk kurang sempurna karena jumlah molekul zat warna *congo red* yang tersedia masih sedikit, sehingga koagulan belum dapat membentuk flok secara efektif. Sebaliknya, pada konsentrasi tinggi 150 ppm, terjadi penurunan efisiensi. Penurunan ini dapat disebabkan oleh kelebihan jumlah zat warna yang tidak sebanding dengan dosis koagulan, sehingga ion-ion positif dalam koagulan tidak lagi cukup untuk menetralkan semua partikel negatif dari polutan *congo red* (Choy *et al.*, 2015). Dari sisi waktu pengendapan, 18 menit cukup untuk membentuk flok yang besar dan stabil, sedangkan waktu yang lebih lama 24–30 menit tidak memberi peningkatan berarti. Hasil ini sesuai dengan mekanisme koagulasi-flokulasi yang dimana konsentrasi awal *congo red* menentukan kemampuan menetralkan muatan koloid, sedangkan waktu pengendapan berpengaruh pada ukuran dan kekuatan flok.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji *one way* ANOVA menunjukkan bahwa variabel waktu pengendapan maupun konsentrasi awal memiliki nilai signifikansi 0,0001 ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa kedua variabel berpengaruh nyata terhadap penurunan zat warna *congo red*. Kondisi optimal diperoleh pada waktu pengendapan 18 menit dan konsentrasi awal *congo red* 100 ppm, dengan efisiensi penyisihan tertinggi mencapai 99,4%

DAFTAR PUSTAKA

- Amanulloh, P., Ari, A., & Barlian, B. (2023). Pengaruh Keragaman Produk Dan Kualitas Pelayanan Terhadap Minat Beli (Survei Pada Konsumen Toko Pakaian Area Singaparna Tasikmalaya). *GLORY(Global Leadership Organizational Research In Managemennt)*, 1(4), 83–107. <https://doi.org/10.59841/Glory.V1i4.329>
- Baatache, O., Benalia, A., Derbal, K., Khalfaoui, A., & Pizzi, A. (2025). Optimized Coagulation Flocculation Of Drinking Water Using Pine Cone-Based Bio-Coagulants: A Comparative Study Of Different Extracts. *Water*, 17(12), 1793. <https://doi.org/10.3390/W17121793>
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., & Ramanan, R. N. (2015). A Review On Common Vegetables And Legumes As Promising Plant-Based Natural Coagulants In Water Clarification. *International Journal Of Environmental Science And Technology*, 12(1), 367–390. <https://doi.org/10.1007/S13762-013-0446-2>
- Dewi, S. C., Aunurohim, A., & Saptarini, D. (2023). Karakteristik Mikroplastik Pada Ikan Kakatua Anglu (*Chlorurus Sordidus*) Dan Ikan Kurisi Sirip Pucat (*Nemipterus Thosaporni*) Di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal Of Marine Science And Technology*, 16(3), 268–280. <https://doi.org/10.21107/Jk.V16i3.22811>
- Dos Santos, T. R. T., Silva, M. F., De Andrade, M. B., Vieira, M. F., & Bergamasco, R. (2018). Magnetic Coagulant Based On Moringa Oleifera Seeds Extract And Super Paramagnetic Nanoparticles: Optimization Of Operational Conditions And Reuse Evaluation. *Desalination And Water Treatment*, 106(February), 226–237. <https://doi.org/10.5004/Dwt.2018.22065>
- Karami, N., Mohammadpour, A., Samaei, M. R., Amani, A. M., Dehghani, M., Varma, R. S., & Sahu, J. N. (2024).

- Green Synthesis Of Sustainable Magnetic Nanoparticles Fe₃O₄ And Fe₃O₄-Chitosan Derived From Prosopis Farcta Biomass Extract And Their Performance In The Sorption Of Lead(II). *International Journal Of Biological Macromolecules*, 254(P1), 127663. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127663>
- Kristanda, J., Sintiago, K. S., Kristianto, H., Prasetyo, S., & Sugih, A. K. (2021). Optimization Study Of Leucaena Leucocephala Seed Extract As Natural Coagulant On Decolorization Of Aqueous Congo Red Solutions. *Arabian Journal For Science And Engineering*, 46(7), 6275–6286. <https://doi.org/10.1007/S13369-020-05008-1>
- Nainggolan, Y., Lestari Hutapea, D., Fauzia Sirait, W., Sirait, M., & Sianturi, R. (2025). Anava Satu Jalur (One Way-Anova). *Journal Of Social Science Research*, 5, 5670–5682.
- Rusydi, A. F., Suherman, D., & Sumawijaya, N. (2017). PENGOLAHAN AIR LIMBAH TEKSTIL MELALUI PROSES KOAGULASI – FLOKULASI DENGAN MENGGUNAKAN LEMPUNG SEBAGAI PENYUMBANG PARTIKEL TERSUSPENSI (Studi Kasus: Banaran, Sukoharjo Dan Lawean, Kerto Suro, Jawa Tengah). *Arena Tekstil*, 31(2). <https://doi.org/10.31266/At.V31i2.1671>
- Wang, X., Jiang, C., Hou, B., Wang, Y., Hao, C., & Wu, J. (2018). Carbon Composite Lignin-Based Adsorbents For The Adsorption Of Dyes. *Chemosphere*, 206, 587–596. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.183>
- Zulkifli, A., Gusniati, J., Septi Zulefni, M., Aldania Afendi, R., Asni, W., & Fitriani, Y. (2025). Tutorial Uji Normalitas Dan Uji Homogenitas Dengan Menggunakan Aplikasi SPSS. *Jurnal Cahaya Nusantara*, 1(2), 3093–8113. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>