

Adsorpsi Zat Warna Remazol Red Limbah Tekstil Menggunakan Adsorben Mangan Zeolit

Sri Rahayu Widyaningrum ^{1*}, Dedi Teguh ², Windia Hanifah ³, Faizatin Nadya Roza ⁴, Edi Junaidi ⁵
^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung
sriahayuwidyan@polinela.ac.id *, dediteguh@polinela.ac.id, windiahanifah@polinela.ac.id, faizatinnr@polinela.ac.id,
edijunaidi@polinela.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 20 April 2025
Direvisi 3 Juni 2025
Diterbitkan 30 Juli 2025

Kata kunci:

Adsorpsi, Remazol Red,
Mangan zeolit

ABSTRAK

Remazol Red merupakan zat warna sintetis yang umum digunakan dalam industri tekstil. Namun, pembuangannya secara langsung ke lingkungan perairan dapat menimbulkan permasalahan lingkungan dan kesehatan yang serius. Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan yang tepat untuk mengurangi beban pencemar dari zat warna ini sebelum dibuang. Salah satu metode yang menjanjikan adalah proses adsorpsi menggunakan mangan zeolit sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mangan zeolit dalam menurunkan konsentrasi remazol red melalui proses adsorpsi secara kontinu. Kurva kalibrasi standar remazol red menunjukkan hubungan linier dengan persamaan $y=0,0278x+0,0055y$ dan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9969, yang menunjukkan tingkat akurasi pengukuran yang tinggi. Efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 19,9% diperoleh dengan massa 34,75 gram, sedangkan efisiensi terendah adalah 12,6%. Kapasitas adsorpsi mencapai maksimum pada menit ke-10, kemudian mengalami fluktuasi, dan mulai menurun serta stabil pada menit ke-40, yang mengindikasikan tercapainya kesetimbangan adsorpsi. Penelitian ini menunjukkan mangan zeolit memiliki karakteristik adsorpsi yang cepat namun dengan efisiensi penyisihan yang masih tergolong rendah, sehingga disarankan untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan kinerja adsorpsi.

Adsorption of Remazol Red Dye from Textile Wastewater Using Manganese Zeolite Adsorbent

ARTICLE INFO

Received April 20, 2025
Revised June 3, 2025
Published July 20, 2025

Keyword:

Adsorpsi, Remazol Red,
Manganese Zeolite

ABSTRACT

Remazol Red is a synthetic dye commonly used in the textile industry. However, its direct discharge into aquatic environments can lead to significant environmental and health problems. Therefore, appropriate treatment methods are necessary to reduce the pollutant load of this dye before disposal. One promising method is adsorption using manganese zeolite as the adsorbent. This study aims to evaluate the effectiveness of manganese zeolite in reducing the concentration of Remazol Red through a continuous adsorption process. The standard calibration curve of Remazol Red showed a linear relationship with the equation $y=0.0278x+0.0055y$ and a correlation coefficient (R^2) of 0.9969, indicating high measurement accuracy. The highest removal efficiency was 19.9% using a manganese zeolite with a mass of 34.75 grams, while the lowest removal was 12.6%. Adsorption capacity reached its maximum at the 10th minute, followed by fluctuations, and began to decline and stabilize at the 40th minute, indicating that adsorption equilibrium had been achieved. The study shows that manganese zeolite exhibits rapid adsorption characteristics; however, its removal efficiency is still considered low. Therefore, further development is recommended to enhance its adsorption performance

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil setiap tahunnya mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan aktivitas industri tekstil juga diiringi dengan timbulnya permasalahan lingkungan [1]. Dimana aktivitas industri tersebut menghasilkan berbagai macam limbah, salah satunya limbah cair. Limbah cair industri tekstil mengandung zat-zat berbahaya, yaitu pada zat warna. Zat warna tekstil umumnya dibuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan gugus benzene yang sulit didegradasi [2]. Terdapat 10-15% dari zat warna digunakan tidak akan terserap ke dalam serat pakaian, sehingga harus dibuang ketempat penampungan limbah, zat warna tersebut bersifat merusak lingkungan karena sukar diuraikan [1,3].

Zat warna azo merupakan zat warna sintetis yang sering digunakan pada industri tekstil [4] yang mengandung paling sedikit satu ikatan ganda $N=N$. Penggunaan zat warna azo yang biasa digunakan adalah Remazol red dan bersifat *non-biodegradable*, mutagenik dan karsinogenik yang dapat mengganggu Kesehatan pada manusia seperti iritasi mata, iritasi kulit, kanker serta mutagen meskipun terbukti beracun, pewarna sintetis masih banyak digunakan dalam industri tekstil [2,5,6]. Beberapa upaya yang dapat dilakukan dalam menangani permasalahan pencemaran limbah tekstil khususnya dalam penanganan zat warna dalam larutan seperti pemisahan fisik, oksidasi kimia dan degradasi biologis [1,7]. Pengolahan secara biologis memerlukan area yang luas dan memiliki keterbatasan dalam pengoperasian. Sementara itu, pengolahan secara kimia kurang ekonomis, proses adsorpsi merupakan metode yang sederhana dan efektif [8]. Di antara metode ini, adsorpsi yang merupakan pemisahan fisik dan memiliki kelebihan yang yaitu mudah dilakukan dan tekniknya yang sederhana serta kemudahan operasional dan dianggap sebagai teknologi hijau [9]. Sejumlah studi telah melaporkan penggunaan berbagai bahan adsorben untuk menghilangkan zat warna dari [6,7].

Adsorben memiliki kemampuan menyerap berbagai jenis senyawa pada bagian permukaan adsorben baik berupa senyawa organik, zat warna, ataupun ion logam. Adsorben yang dikenal memiliki nilai jual yang murah dan dapat digunakan sebagai adsorben zat warna adalah zeolite. Zeolit merupakan material berpori yang tersusun oleh mineral alumina silika dan keberadaannya telah diteliti secara luas untuk berbagai bidang, salah satunya adalah sebagai adsorben [1]. Salah satu jenis adsorbent yang sering digunakan dalam pengolahan air yaitu mangan zeolite [10]. Mangan zeolit adalah zeolit sintetis yang permukaannya dilapisi oleh mangan oksida tinggi atau mangan (IV) oksida (MnO_2) yang merupakan material berpori dengan luas permukaan yang besar, bersifat sebagai oksidator ringan dan stabil secara kimia dalam kondisi aman. Selain itu Mangan zeolit memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan tipis dan menunjukkan karakteristik mesopore sebagai adsorben [11]. Penelitian Purwono (2013) menggunakan mangan zeolit untuk pengolahan air limbah didapatkan hasil kadar kekeruhan mengalami penurunan sebesar 57,9% [9]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas mangan zeolit sebagai adsorben dalam penyisihan zat warna remazol red dari air limbah tekstil melalui proses adsorpsi, dengan mengkaji pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi dan persentase penyisihan warna.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dan dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri Politeknik Negeri Lampung. Hasil pengamatan diolah dan disajikan secara deskriptif.

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah mangan zeolite, zat warna Remazol red dan aquades. Peralatan yang digunakan berupa neraca analitik, labu ukur, pengaduk kaca, Erlenmeyer dan spektrofotometer UV-Vis.

2.2 Pembuatan Larutan Remazol Red

- Larutan Remazol Red 100 ppm dibuat dengan melarutkan 0,1 g Remazol red dengan aquades sampai volume larutan 1 L, aduk menggunakan batang pengaduk kaca sampai homogen
- Larutan standar Remazol red dibuat dari larutan Remazol red dengan konsentrasi 1, 3, 5, 7 dan 9 ppm dengan volume larutan 10 ml menggunakan rumus sebagai berikut :

$$M_1 V_1 = M_2 V_2 \quad (1)$$

2.3 Penentuan Panjang Gelombang Absorbansi Maksimum

- Larutan remazol red dengan konsentrasi 5 ppm diukur absorbansinya pada panjang gelombang 400-600 nm dan 500-700 nm menggunakan spektrofotometer UV-VIS
- Panjang gelombang dengan absorbansi paling besar akan digunakan untuk membuat grafik kalibrasi

dan penentuan konsentrasi zat warna remazol selanjutnya

2.4 Proses adsorpsi menggunakan mangan zeolite

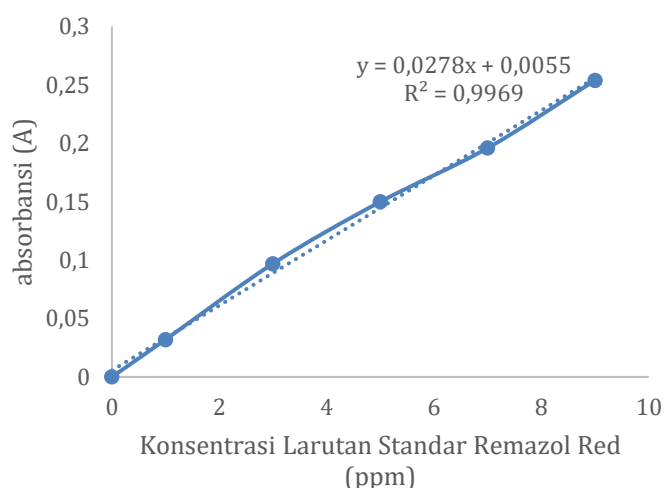
Proses adsorpsi dilakukan dengan melewati air limbah pewarna sintetis remazol red dengan konsentrasi 100 ppm (0,1 gr remazol dalam 1 liter air) ke dalam kolom adsorpsi yang telah diisi adsorben mangan zeolit dengan ketinggian 5 cm massa 34,75 gram selama 10 menit. Setelah 10 menit, sampel diambil sebanyak 5 ml untuk diencerkan ke dalam labu 100 mL. Selanjutnya sampel diukur nilai absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Penurunan konsentrasi sampel dianalisis dengan alat UV-Vis Varian Cary 50. Prosedur di atas diulangi dengan memvariasikan waktu adsorpsi yaitu 20, 30, 60, dan 90 menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Kurva Standar Larutan Remazol Red

Penentuan kurva kalibrasi digunakan untuk mencari persamaan regresi linear sehingga dapat digunakan dalam pencarian suatu kadar yang absorbansinya sudah diukur [12]. Persamaan regresi linear merupakan hubungan konsentrasi Remazol red dalam ppm dan nilai absorbansi setiap konsentrasinya.

Kurva kalibrasi dari larutan standar remazol red disajikan pada Gambar 1.

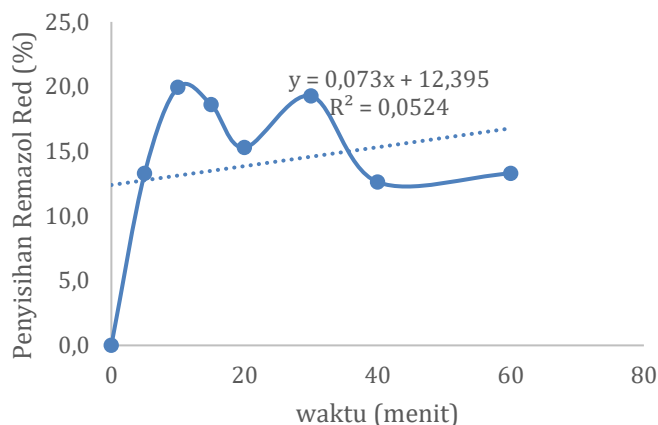


Gambar 1. Kurva kalibrasi larutan standar remazol red

Berdasarkan Gambar 1., dapat dikatakan bahwa semakin besar konsentrasi suatu larutan maka nilai absorbansinya akan semakin besar atau nilai konsentrasi berbanding lurus terhadap nilai absorbansi. Hal tersebut sesuai dengan hukum Lambert-Beer dimana intensitas yang diteruskan oleh suatu larutan (zat) berbanding lurus dengan konsentrasi larutan [12]. Persamaan regresi yang didapatkan oleh kurva kalibrasi larutan standar Remazol red adalah $y = 0,0278x + 0,0055$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9969 dimana hasil regresi linear tersebut merupakan hasil yang baik karena R^2 mendekati 1. Selanjutnya persamaan regresi yang diperoleh digunakan untuk menentukan konsentrasi akhir setiap proses adsorpsi.

3.2 Efektifitas Penyisihan Warna

Variasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penyerapan optimum pada zat warna Remazol red oleh mangan zeolit. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap persentase penyisihan warna remazol red ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, efektifitas penyisihan warna tertinggi terjadi pada waktu kontak 10 menit dengan persentase penyisihan sebesar 19,9 % dan terendah pada waktu kontak 40 menit dengan persentase penyisihan sebesar 12,6%. Hal ini menandakan bahwa efektifitas penyisihan warna pada limbah sintetis Remazol red menggunakan mangan zeolit masih tergolong rendah. Semakin lama waktu kontak maka semakin lama interaksi yang terjadi antara adsorben dengan Remazol red, sehingga jumlah zat teradsorpsi bertambah. Namun, setelah mencapai waktu kontak optimum, kapasitas dan persentase adsorpsi mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena setelah mencapai waktu kontak optimum, interaksi antara adsorben dengan remazol red menurun karena sisi aktif dari adsorben telah terisi dengan remazol red sehingga mengakibatkan daya adsorpsi akan berkurang [6,13].

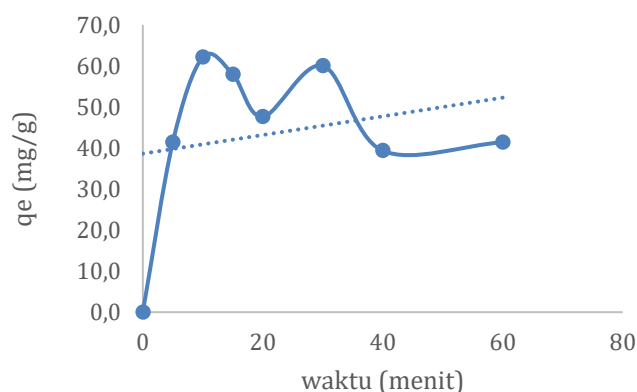


Gambar 2. Pengaruh waktu adsorpsi terhadap persentase penyisihan Remazol red

Efisiensi adsorpsi zat warna Remazol red pada Gambar 2 mengalami fluktuasi dengan bertambahnya waktu adsorpsi. Naik dan turunnya persentase penyisihan Remazol red dapat disebabkan beberapa faktor yaitu pengadukan yang tidak merata saat pembuatan larutan Remazol Red, serta aliran larutan remazol red ke dalam kolom adsorpsi yang tidak seragam, sehingga interaksi antara adsorben dan zat warna tidak terjadi secara konsisten di seluruh bagian larutan yang mengalir dalam kolom [8]. Akibatnya, konsentrasi zat warna yang tidak teradsorpsi dapat bervariasi pada setiap waktu pengambilan sampel. Selain itu, mangan zeolit memiliki jumlah situs aktif yang terbatas, dan molekul zat warna saling bersaing atau bertabrakan pada permukaan adsorben, sehingga terjadi proses adsorpsi ulang dan pelepasan dinamis. Fenomena ini menyebabkan fluktuasi efisiensi penyisihan warna. Ketidakteraturan aliran juga menyebabkan air tidak mengalir secara bergantian (merata), sehingga distribusi kontak antara larutan dan permukaan adsorben menjadi tidak optimal [2].

3.3 Pengaruh Waktu Kontak terhadap kapasitas adsorpsi

Waktu kontak merupakan parameter penting dalam proses adsorpsi karena memengaruhi efisiensi penyerapan zat warna oleh adsorben. Penentuan waktu kontak optimum bertujuan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan suatu mangan zeolit untuk mengadsorpsi secara maksimal zat warna remazol red.



Gambar 4. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi

Gambar 4. menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi meningkat tajam pada menit awal hal ini mengindikasikan proses adsorpsi yang cepat akibat tersedianya banyak situs aktif pada permukaan mangan zeolit. Nilai q_e mencapai batas maksimum pada menit 10 kemudian mengalami fluktuasi. Hal ini dapat disebabkan oleh desorpsi ulang atau redistribusi molekul zat warna pada permukaan adsorben. Menit ke 40 kapasitas adsorpsi cenderung menurun dan stabil yang menunjukkan tercapainya kesetimbangan adsorpsi. Penurunan kapasitas adsorpsi juga dapat disebabkan oleh kondisi jenuh dari adsorben mangan zeolit sehingga tidak dapat melakukan adsorpsi secara optimal yang menyebabkan adsorben akan melepaskan kembali

sebagian zat warna ke dalam sistem larutan sehingga menyebabkan penurunan nilai kapasitas adsorpsi [1]. Fluktuasi nilai q_e juga dapat disebabkan oleh ketidakstabilan interaksi adsorbat-adsorben, perubahan struktur permukaan adsorben, atau gangguan dinamis dalam sistem, terutama yang terkait dengan difusi massa (*film diffusion, intraparticle diffusion*) [14,15]. Namun, secara umum, kapasitas adsorpsi terbesar terjadi dalam waktu kontak pendek, menunjukkan bahwa mangan zeolit memiliki efisiensi adsorpsi yang cepat.

4. KESIMPULAN

Mangan zeolit memiliki potensi dalam menurunkan konsentrasi zat warna remazol red dari limbah tekstil melalui proses adsorpsi secara kontinu. Kurva kalibrasi standar menunjukkan tingkat linearitas yang sangat baik dengan nilai R^2 sebesar 0,9969. Efektivitas penyisihan warna tertinggi dicapai sebesar 19,9% dengan ketinggian adsorben 5 cm, massa adsorben 34,75 gram, serta waktu kontak 10 menit. Kapasitas adsorpsi tertinggi terjadi pada menit ke-10 dengan nilai 62,109 dan cenderung menurun serta stabil pada menit ke-40 yang menandakan tercapainya kesetimbangan adsorpsi. Secara keseluruhan, mangan zeolit menunjukkan karakteristik adsorpsi yang cepat namun dengan efisiensi penyisihan yang masih tergolong rendah, sehingga disarankan untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan kinerja adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Damajanti, A. Ma'ruf, and H. K. Nugraha, "Aplikasi Zeolit Alam Aktif Wonosari Sebagai Adsorben Zat Warna Remazol Yellow Fg," *Proc. Ser. Phys. Form. Sci.*, vol. 1, pp. 80–87, 2021.
- [2] E. Widjajanti, R. Tutik, and M. P. Utomo, "Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jinaga," *Pros. Semin. Nas. Penelitian, Pendidik. dan Penerapan MIPA, Fak. MIPA, Univ. Negeri Yogyakarta*, no. July, pp. 115–122, 2011.
- [3] M. H. Dehghani, A. Dehghan, H. Alidadi, M. Dolatabadi, M. Mehrabpour, and A. Converti, "Removal of methylene blue dye from aqueous solutions by a new chitosan/zeolite composite from shrimp waste: Kinetic and equilibrium study," *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 34, no. 6, pp. 1699–1707, 2017.
- [4] D. Herawati, S. D. Santoso, and I. Amalina, "Kondisi Optimum Adsorpsi-Fluidisasi Zat Warna Limbah Tekstil Menggunakan Adsorben Jantung Pisang," *J. SainHealth*, vol. 2, no. 1, p. 1, 2018.
- [5] S. Oko, H. Harjanto, A. Kurniawan, and C. Winanti, "Penurunan Kadar Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Serbuk CaCO_3 Dari Cangkang Telur Dan Karbon Aktif," *Metana*, vol. 18, no. 1, pp. 39–45, 2022.
- [6] F. Yuniarizky and Nazriati, "Adsorpsi Zat Warna Remazol Red menggunakan Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif," *J. Cis-Trans*, vol. 5, no. 2, pp. 25–33, 2021.
- [7] J. A. S. Costa and C. M. Paranhos, "Evaluation of rice husk ash in adsorption of Remazol Red dye from aqueous media," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 5, pp. 1–8, 2019.
- [8] A. K. Popuri, R. N. Mandapati, B. Pagala, and P. Guttikonda, "Color removal from dye wastewater using adsorption," *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, vol. 39, no. 1, pp. 115–118, 2016.
- [9] A. Hasan, M. Yerizam, and M. H. Yahya, "Mekanisme Adsorben Zeolit dan Manganese Zeolit Terhadap Logam Besi (Fe)," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 01, pp. 9–17, 2021.
- [10] A. Hasan *et al.*, "Mekanisme Adsorben Zeolit dan Manganese Zeolit terhadap Logam Besi (Fe)," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 01, pp. 9–17, 2021.
- [11] M. W. Rahman, H. R. Ong, W. Y. J. Kong, H. Abdullah, and M. M. R. Khan, "Adsorption of manganese ions from aqueous solution by using manganese oxide coated zeolite," *Desalin. Water Treat.*, vol. 224, pp. 273–281, 2021.
- [12] D. Nury *et al.*, "Pengaruh Massa Karbon Aktif dan Konsentrasi Adsorbat dalam Penyerapan Zat Warna Metilen Blue," *ISTA Online Technol. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 55–67, 2023.
- [13] A. Gürses, K. Güneş, E. Şahin, and M. Açıkyıldız, "Investigation of the removal kinetics, thermodynamics and adsorption mechanism of anionic textile dye, Remazol Red RB, with powder pumice, a sustainable adsorbent from waste water," *Front. Chem.*, vol. 11, no. June, pp. 1–14, 2023.
- [14] B. Kwakye-Awuah, B. Sefa-Ntiri, E. Von-Kiti, I. Nkrumah, and C. Williams, "Groundwater samples in Ghana by zeolite Y synthesized from bauxite and kaolin," *Water (Switzerland)*, vol. 11, p. 1912, 2019.
- [15] M. N. Roy *et al.*, "Adsorption, Kinetics and Thermodynamics of Reactive Dyes on Chitosan Treated Cotton Fabric," *Text. Leather Rev.*, vol. 6, no. May, pp. 211–232, 2023.