

Strategi Ramah Lingkungan: Zeolit Lokal dan Fotokatalis dalam Pengolahan Air Limbah Industri Ringan di Indonesia

Miftakhun Nur Mujtahidah

Program Studi Kimia, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
e-mail: mnurmujtahidah@gmail.com

Kata Kunci:

Zeolit lokal; fotokatalisis; remediasi air limbah; industri ringan; kimia lingkungan

Keywords:

Local zeolite; photocatalysis; wastewater remediation; light industry; environmental chemistry

ABSTRAK

Masalah pencemaran air akibat aktivitas industri ringan masih menjadi tantangan lingkungan di Indonesia, terutama mengenai keberadaan ion logam, zat warna sintesis, dan senyawa organik yang sulit terdegradasi secara alami. Sejumlah metode pengolahan limbah telah dilakukan, tetapi sebagian di antaranya belum mampu memberikan hasil yang optimal dan berkelanjutan. Jurnal ini bertujuan mengevaluasi potensi pemanfaatan zeolit lokal dan material fotokatalis sebagai opsi penyelesaian dalam remediasi air limbah industri ringan.

Pembahasan ini disusun berdasarkan studi literatur dari penelitian dosen UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang berkaitan di bidang kimia lingkungan. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa zeolit lokal memiliki kemampuan yang baik sebagai adsorben polutan anorganik, terutama ion logam, karena struktur berpori dan kapasitas pertukaran kation yang tinggi, terutama setelah dimodifikasi. Di samping itu, teknologi fotokatalisis efektif dalam mendegradasi senyawa organik dan zat warna dengan pemanfaatan energi cahaya. Penggabungan antara adsorpsi dan fotokatalisis dinilai mampu meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah serta mengurangi kemungkinan pencemaran sekunder. Secara keseluruhan, penerapan zeolit lokal dan pengembangan material fotokatalis selaras dengan prinsip keberlanjutan dan berpotensi diterapkan dalam pengelolaan air limbah industri ringan di Indonesia.

ABSTRACT

Water pollution caused by light industrial activities a major environmental challenge in Indonesia, particularly due to the presence of metal ions, synthetic dyes, and persistent organic compounds. Although various wastewater treatment methods have been applied, many of them still face limitations in terms of efficiency and sustainability. This journals aims to evaluate the potential use of local zeolite and photocatalytic materials as alternative approaches for the remediation of light industrial wastewater. The study is based on a literature review of research conducted by academics from UIN Maulana Malik Ibrahim Malang in the field of environmental chemistry. The findings indicate that local zeolite exhibits strong adsorption performance for inorganic pollutants, especially metal ions, owing to its porous structure and high cation exchange capacity, which can be further enhanced through modification processes. Meanwhile, photocatalytic technology has demonstrated effective degradation of arganic compounds and dyes through lightdriven reactions. The integration of adsorption and photocatalysis is considered a complementary strategy that can improve treatment efficiency while minimizing secondary pollution. Overall, the utilization of local zeolite combined with the development of photocatalytic materials aligns with sustainability principles and offers promising potential for environmentally friendly wastewater management in Indonesia.



Pendahuluan

Permasalahan pencemaran yang diakibatkan oleh aktivitas industri masih menjadi isu lingkungan di Indonesia. Beberapa kandungan dari limbah cair seperti: ion logam, zat warna sintesis, serta senyawa organik yang sulit terdegradasi secara alami. Limbah tersebut apabila tidak di tangani dengan baik dan tepat akan berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem, menurunkan kualitas perairan, bahkan bisa sampai membahayakan Kesehatan manusia.

Upaya-upaya pengelolaan limbah terus dilakukan, namun beberapa metode seperti pengendapan dan filtrasi acap kali belum mampu mengatasi polutan secara optimal. Oleh karena itu, sebagai alternatif lain dilakukan pendekatan berbasis kimia lingkungan yang memanfaatkan material yang ramah lingkungan dan mudah diperoleh dari sekitar kita.

Zeolit dikenal mempunyai struktur berpori, luas permukaan yang tinggi, serta kapasitas pertukaran kation yang baik sehingga efektif digunakan sebagai adsorben dalam proses remediasi air. Beberapa riset yang dilakukan Amalia (2015) membuktikan bahwa zeolit X yang dibuat dari abu ampas tebu memiliki kapasitas pertukaran kation yang baik terhadap ion magnesium (Mg^{2+}). Selanjutnya, Rianto et al. (2012) menunjukkan bahwa modifikasi zeolite alam melewati impregnasi logam titanium dapat meningkatkan permukaan zeolit, yang mempunyai pengaruh terhadap peningkatan kinerja zeolit sebagai material fungsional. Pemanfaatan material lokal ini sejalan dengan prinsip keberlanjutan pengelolaan lingkungan yang berbasis sumber daya domestik. (Amalia, 2015a; Rianto et al., 2012)

Selain metode adsorpsi, ada juga teknologi fotokatalisis yang berkembang sebagai pendekatan lanjutan dari pengolahan air limbah, terutama untuk mendegradasi senyawa organik dan zat warna yang sulit dihilangkan. Fotokatalisis merupakan metode yang berbasis oksida logam yang mampu mempercepat reaksi degradasi polutan dengan bantuan energi Cahaya sehingga menghasilkan produk yang lebih aman bagi lingkungan. Studi Illahi et al. (2020) membuktikan bahwa material fotokatalis heterojunction $Bi_4Ti_3O_{12}/SrTiO_3$ mempunyai karakteristik yang baik dan berpotensi digunakan dalam pengolahan air limbah. (Nur Lllahi et al., 2020)

Berdasarkan uraian diatas, jurnal ini bertujuan untuk mengevaluasi secara komprehensif pemanfaatan zeolit lokal dan fotokatalis sebagai Solusi dalam remediasi air limbah industri ringan. Evaluasi ini diharapkan dapat memberikan Gambaran terpadu terkait potensi, keunggulan, serta tantangan penerapan kedua metode tersebut dalam konteks kimia lingkungan di Indonesia.

Pembahasan

Pengolahan air limbah industri ringan tidak hanya membutuhkan pendekatan yang efektif, tetapi juga harus memperhatikan aspek berkelanjutan dan ketersediaan sumber daya alam lokal. Berdasarkan penelitian dari jurnal-jurnal dosen UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, dua pendekatan yang mempunyai potensi tinggi dalam remediasi air limbah adalah penggunaan zeolit lokal sebagai adsorben dan

pemanfaatan material fotokatalis untuk degradasi polutan. Kedua metode ini mempunyai mekanisme kerja yang berbeda, namun saling melengkapi satu sama lain dalam mengendalikan berbagai jenis pencemaran air.

Teks utama dalam font 12, spasi tunggal. Spasi setiap akhir paragraf 6 poin. Setiap awal paragraph menggunakan *first line*. Teks utama dalam font 12, spasi tunggal. Spasi setiap akhir paragraf 6 poin. Setiap awal paragraph menggunakan *first line*.

Pemanfaatan Zeolit Lokal sebagai Adsorben Polutan Air

Zeolit adalah material aluminosilikat berpori yang memiliki struktur Kristal teratur dan kapasitas pertukaran kation yang tinggi. Sifat tersebut menjadikan zeolite efektif dalam mengadsorpsi ion logam dan senyawa pencemar dari air limbah. Riset yang dilakukan oleh Amalia (2015) mengungkapkan bahwa zeolit yang disintesis dari abu ampas tebu memiliki kapasitas pertukaran ion yang baik pada ion magnesium (Mg^{2+}). temuat tersebut mendukung potensi pemanfaatan limbah pertanian sebagai sumber bahan baku zeolite, sekaligus mendukung konsep ekonomi sirkular dalam pengelolaan lingkungan.

Temuan diatas memperkuat pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan baku material yang sangat bernilai dan berguna dalam bidang kimia lingkungan. Selain menambah nilai ekonomis limbah, car aini juga mendukung prinsip keberlanjutan dan pengelolaan lingkungan berbasis sumber daya lokal.(Amalia, 2015a)

Penerapan zeolit lokal juga mempunyai kelebihan dari sisi ketersediaan dan biaya produksi yang tergolong minimal. Zeolit alam Indonesia dapat diubah melalui proses aktivasi atau impregnasi logam untuk meningkatkan sifat fisika dan kimiannya. Putri et al. (2015) menginformasikan bahwa impregnasi logam timah (Sn) pada zeolit alam mampu menambah aktivitas katalitik material tersebut. Meskipun riset tersebut lebih berfokus pada reaksi isomerisasi glukosa, prinsip modifikasi zeolit yang diterapkan sejalan dengan peningkatan performa adsorpsi pada aplikasi pengolahan air limbah.(Putri et al., 2015)

Restrukturisasi zeolit memiliki tujuan untuk memperbesar luas permukaan secara spesifik, memperbaiki distribusi pori, serta meningkatkan jumlah situs aktif pada permukaan material. Dalam konteks remediasi air limbah, zeolit terstrukturisasi memiliki potensi lebih efektif dalam menyerap ion logam berat dan senyawa anorganik lainnya dibandingkan dengan zeolit tanpa perlakuan (Putri et al., 2015). Penelitian Rianto et al. (2012) juga menunjukkan bahwa impregnasi logam titanium pada zeolit alam Malang mampu meningkatkan luas permukaan zeolit, yang berimplikasi pada peningkatan kinerja zeolit. Oleh sebab itu, penerapan zeolit lokal terstrukturisasi dapat menjadi Solusi yang fungsional bagi industri ringan yang memerlukan teknologi pengolahan limbah yang sederhana, murah, dan ramah untuk lingkungan.

Fotokatalis sebagai Agen Degradasi Senyawa Organik

Selain metode adsorbs, fotokatalisis merupakan pendekatan lain yang banyak diteliti dalam pengolahan air limbah, terutama untuk mendegradasi senyawa organik

dan zat warna. Fotokatalis bekerja dengan memanfaatkan energi cahaya untuk menciptakan radikal bebas yang mampu mengoksidasi senyawa pencemar menjadi molekul yang lebih sederhana dan lebih aman bagi lingkungan.

Al-Abror et al. (2023) menyatakan bahwa material fotokatalis berupa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$, yang disintesis melalui metode molten salt memperlihatkan aktivitas yang baik dalam mendegradasi metilen biru. Metilen biru memiliki karakteristik yang mewakili senyawa organik kompleks dalam air limbah industri tekstil dan industri ringan lainnya, sehingga metilen biru sering digunakan sebagai zat warna model. Kesuksesan degradasi pada metilen biru menunjukkan bahwa material fotokatalis sangat memungkinkan untuk diaplikasikan dalam pengolahan air limbah yang mengandung zat warna (Al-Abror et al., 2023).

Nur Lllahi et al. (2020) membuktikan bahwa material fotokatalis heterojunction $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ yang digabungkan melalui metode sonikasi memiliki karakteristik structural yang baik dan berpotensi dalam penggunaan degradasi zat warna. Hal itu menunjukkan bahwa pengembangan material fotokatalis berbasis oksida logam memiliki kemungkinan yang meyakinkan dalam pengolahan air limbah industry ringan.

Kelebihan utama fotokatalisis adalah pada kemampuannya dalam mendegradasi polutan secara kimia, bukan sekedar dipindahkan ke fase yang lain. Oleh karenanya, risiko pencemaran sekunder mampu diminimalkan. Akan tetapi, keberhasilan fotokatalis sangat dipengaruhi oleh apa jenis material yang dipakai, metode sintesis, juga kondisi operasional seperti intensitas Cahaya dan waktu kontak (Nur Lllahi et al., 2020). Maka dari itu, peningkatan material fotokatalis yang stabil dan efisien menjadi aspek yang penting dalam penerapan teknologi ini secara luas.

Integrasi Pendekatan Adsorpsi dan Fotokatalisis

Berdasarkan penelitian jurnal-jurnal rujukan, dapat diketahui bahwa adsorpsi dengan menggunakan zeolit dan fotokatalisis mempunyai fungsi yang saling melengkapi. Adsorpsi dengan menggunakan zeolit efektif untuk menurunkan konsentrasi ion logam dan senyawa anorganik melalui mekanisme pertukaran kation (Amalia, 2015), sementara fotokatalisis lebih baik dalam mendegradasi senyawa organik dan zat warna yang bersifat persisten (Al-Abror et al., 2022).

Penggabungan dari kedua metode ini memiliki potensi dalam meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah industri ringan. Zeolite dapat dimanfaatkan untuk tahap pertama dalam pengolahan air limbah untuk menurunkan kadar polutan anorganik, sehingga proses fotokatalisis selanjutnya dapat berjalan dengan lebih optimal. Di samping itu, zeolit juga berpotensi untuk digunakan sebagai material pendukung dalam proses fotokatalis yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas dan luas permukaan aktifnya (Putri et al., 2015).

Pendekatan integratif antara adsorpsi dan fotokatalisis selaras dengan prinsip kimia lingkungan yang menekankan efisiensi proses, pengurangan limbah sekunder, dan pemanfaatan material ramah lingkungan. Dalam konteks Indonesia, penggunaan zeolit lokal yang dipadukan dengan pengembangan material fotokatalis, sebagaimana yang diteliti oleh dosen UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, berpeluang menjadi

pendekatan yang strategis dalam mewujudkan pengolahan air limbah industri ringan yang berkelanjutan.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan kajian Pustaka yang telah dibahas, dapat disimpulkan bawasannya pemanfaatan zeolit lokal dan material fotokatalis mempunyai potensi yang besar untuk digunakan sebagai media pengolahan air limbah industri ringan. Dapat dibuktikan bahwa zeolit lokal efektif sebagai adsorben polutan anorganik, khususnya ion logam, karena struktur berpori dan kemampuan pertukaran kation yang dimilikinya. Kinerja zeolit dapat meningkat melalui proses modifikasi sehingga lebih optimal, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk diterapkan dalam pengolaan limbah berbasis sumber daya lokal.

Di samping itu, teknologi fotokatalisis membuktikan peran yang penting dalam mendegradasi senyawa organik dan zat warna yang sulit terurai secara alami. Material berlandaskan oksida logam mampu memanfaatkan energi Cahaya untuk mempercepat proses degradasi polutan menjadi senyawa yang lebih sederhana dan cukup aman untuk lingkungan. Keistimewaan utama dari metode ini terletak psds kemampuannya mengurangi risiko pencemaran sekunder, karena polutan tidak hanya dipindahkan, tetapi benar-benar diuraikan secara kimia.

Perpaduann metode adsorpsi menggunakan zeolit dan fotokatalisis merupakan strategi yang saling melengkapi dalam pengolahan air limbah industri ringan. Zeolit dapat digunakan pada tahap awal untuk menurunkan kadar polutan anorganik, oleh karena itu proses fotokatalisis berikutnya bisa berlangsung lebih efektif dalam mendegradasi senyawa organik. Dalam konteks Indonesia, penggunaan zeolit lokal yang dikombinasikan dengan pengembangan material fotokatalis, sebagaimana diteliti oleh dosen UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, selaras dengan prinsip kimia lingkungan dan keberlanjutan, serta berkemungkinan menjadi Solusi yang strategis dan aplikatif.

Selaras dengan hal tersebut, studi selanjutnya disarankan untuk lebih focus pada pengembangan material terintegrasi berbasis zeolit dan fotokatalis untuk meningkatkan efisiensi dan kestabilan proses pengolahan air limbah. Pengujian pada air limbah industri nyata serta peningkatan kinerja operasional juga perlu diterapkan agar teknologi ini dapat diterapkan secara lebih luas. Dukungan riset berkelanjutan dan kolaborasi antara akademisi, industry, dan pihak terkait diharapkan mampu mendukung penerapan teknologi pengolahan air limbah yang efektif, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan di Indonesia

Daftar Pustaka

Al-Abror, M. L., Hastuti, E., & Prasetyo, A. (2023). Molten Salt Synthesis of Photocatalyst Material $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ for Methylene Blue Degradation. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 17(2), 182–189. <https://repository.uin-malang.ac.id/13414/>

- Amalia, S. (2015). Cation Exchange Capacity of Zeolite X from Bagasse Ash against Magnesium(II). In *ALCHEMY: Journal of Chemistry* (Vol. 4, Issue Oktober). <https://repository.uin-malang.ac.id/4686/>
- Nur Lllahi, A., Rouf, U. A., Maulidianingtyas, H., Hastuti, E., Prasetyo, A., Nurul Istighfarini, V., Program, S., Kimia, F., Sains, D., Teknologi, M., Malik, I., Malang, I., & Fisika, F. (2020). SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL FOTOKATALIS HETEROJUNCTION $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ DENGAN METODE SONIKASI. In *Jurnal Kimia Riset* (Vol. 5, Issue 1). <https://repository.uin-malang.ac.id/8532/>
- Putri, D., Pamungkas, W., Amalia, S., Abtokhi, A., Khalifah, S. N., Kimia, J., Sains, F., Uin, T., Malik, M., Malang, I., Institusi, N., & Fisika, J. (2015). Utilization of Natural Zeolite Catalyst Impregnated Sn Metal in Glucose Isomerization With Temperature Variations. In *ALCHEMY* (Vol. 4, Issue 1). <https://repository.uin-malang.ac.id/4694/>
- Rianto, L. B., Amalia, S., Khalifah, S. N., Kimia, J., Sains, F., Uin, T., & Malang, M. (2012). PENGARUH IMPREGNASI LOGAM TITANIUM PADA ZEOLIT ALAM MALANG TERHADAP LUAS PERMUKAAN ZEOLIT. In *ALCHEMY* (Vol. 2, Issue 1). <https://repository.uin-malang.ac.id/4693/>