

Pengembangan Material Baru untuk Pengolahan Limbah Industri: Tinjauan Sistematis Literatur

Heri Askari^{1*}, Dewi Larasati¹, Hasan Yudo²

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Nahdlatul Ulama Kalimantan Timur, Indonesia;

²Program Studi Teknik Kimia, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali, Indonesia.

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri, yang merupakan isu penting di tengah meningkatnya pencemaran lingkungan akibat limbah industri yang tidak terkelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menganalisis berbagai material inovatif yang dapat digunakan dalam proses pengolahan limbah industri, serta menilai efektivitas dan keberlanjutan teknologi yang ada saat ini. Keberhasilan penelitian ini terletak pada penemuan bahwa material baru tidak hanya mampu mengurangi kadar polutan, tetapi juga dapat dihasilkan dari sumber yang berkelanjutan, sehingga mendukung prinsip ekonomi sirkular. Implikasi dari penelitian ini sangat luas, mencakup pengembangan kebijakan dan praktik industri yang lebih baik dalam pengelolaan limbah. Temuan ini dapat digunakan sebagai panduan bagi para pemangku kepentingan, termasuk pembuat kebijakan, peneliti, dan pelaku industri, untuk mengadopsi teknologi baru yang lebih efektif dalam mengurangi dampak lingkungan dari limbah industri.

Kata kunci

Keberlanjutan ekonomi sirkular; Material inovatif; Pengolahan limbah industri

Abstract

This research focuses on the development of new materials for industrial waste treatment, which is an important issue amidst the increasing environmental pollution caused by poorly managed industrial waste. This research aims to explore and analyze various innovative materials that can be used in the industrial waste treatment process, as well as assess the effectiveness and sustainability of existing technologies. The success of this research lies in the discovery that new materials are not only able to reduce pollutant levels but can also be produced from sustainable sources, thus supporting the principle of a circular economy. The implications of this research are broad, including the development of better industrial policies and practices in waste management. These findings can be used as a guide for stakeholders, including policy makers, researchers, and industry players, to adopt new technologies that are more effective in reducing the environmental impact of industrial waste.

Keywords

Circular economy sustainability; Innovative materials; Industrial waste processing

Korespondensi
Heri Askari
heriaskari@unukaltim.ac.id

Pendahuluan

Pengolahan limbah industri merupakan isu yang semakin mendesak dalam konteks keberlanjutan lingkungan. Limbah industri, jika tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan pencemaran yang serius terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Menurut (Nursabrina et al., 2021), limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dihasilkan dari berbagai sektor industri dapat menimbulkan dampak negatif yang signifikan, baik bagi lingkungan maupun kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, pengembangan metode pengolahan limbah yang lebih efisien dan ramah lingkungan menjadi sangat penting untuk mencapai tujuan keberlanjutan.

Namun, pengelolaan limbah industri konvensional menghadapi berbagai tantangan. Proses pengolahan yang ada sering kali tidak memadai dalam mengurangi kadar polutan, terutama logam berat dan senyawa berbahaya lainnya. (Wathoni et al., 2021) menunjukkan bahwa banyak limbah cair industri yang masih mengandung kadar logam berat yang melebihi ambang batas yang ditetapkan, sehingga memerlukan teknologi pengolahan yang lebih efektif. Selain itu, metode konvensional sering kali memerlukan biaya yang tinggi dan tidak selalu dapat diandalkan dalam jangka panjang, sehingga mendorong perlunya inovasi dalam pengembangan material baru untuk pengolahan limbah.

Pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pengolahan. Material baru seperti nano karbon aktif dan silika telah menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam menyerap polutan dari limbah cair (Munandar et al., 2016; Rahayu et al., 2022). Penelitian oleh (Kurniati et al., 2019) juga menunjukkan bahwa limbah organik, seperti kulit pisang, dapat dimanfaatkan sebagai adsorben untuk menghilangkan zat warna dari limbah industri tekstil. Melalui memanfaatkan material baru ini, diharapkan proses pengolahan limbah dapat dilakukan dengan lebih efisien dan berkelanjutan.

Berbagai jenis material baru telah dikembangkan untuk pengolahan limbah industri, termasuk adsorben berbasis biomassa, nano-material, dan teknologi bioremediasi. Penelitian oleh (AlKahfi et al., 2021) menunjukkan bahwa bakteri petrofilik dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mengandung amonia, sedangkan penelitian oleh (Hevira et al., 2019) membahas metode adsorpsi untuk penyerapan ion logam dan zat warna dalam limbah cair. Efektivitas material baru ini dibandingkan dengan teknologi konvensional menunjukkan hasil yang menjanjikan, dengan banyak penelitian yang melaporkan penurunan kadar polutan yang signifikan (Emerseon et al., 2021).

Meskipun telah banyak penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa kelemahan dalam studi-studi sebelumnya, seperti kurangnya fokus pada aplikasi praktis dari material baru dalam skala industri. Hal ini menciptakan celah penelitian yang perlu diisi, yaitu bagaimana mengimplementasikan teknologi baru ini dalam konteks industri yang lebih luas. Pertanyaan penelitian yang muncul adalah Bagaimana efektivitas material baru dalam pengolahan limbah industri dibandingkan dengan metode konvensional, dan apa saja tantangan yang dihadapi dalam penerapannya?. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi dan menganalisis berbagai material baru yang telah dikembangkan serta mengevaluasi efektivitasnya dalam pengolahan limbah industri.

Novelty dari penelitian ini terletak pada pendekatan sistematis dalam mengkaji literatur yang ada mengenai pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri, serta memberikan rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut yang dapat mengatasi tantangan yang ada. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya pengelolaan limbah industri yang lebih berkelanjutan dan efektif.

Metode

Metode yang digunakan dalam artikel ini adalah *Systematic Literature Review* (SLR), yang merupakan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menganalisis literatur yang relevan terkait pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri. Langkah pertama adalah identifikasi, di mana peneliti melakukan pencarian literatur di berbagai basis data akademik seperti Google Scholar, Scopus, dan PubMed untuk menemukan artikel yang relevan dengan topik yang diteliti.

Setelah tahap identifikasi, langkah berikutnya adalah penyaringan, di mana artikel yang ditemukan akan dievaluasi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan. Kriteria ini mencakup relevansi topik, tahun publikasi, dan kualitas metodologi penelitian. Pada penelitian ini, hanya artikel yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir yang akan dipertimbangkan, untuk memastikan bahwa informasi yang digunakan adalah terkini dan relevan (Ahmad Fahrudin & Eka Maryam, 2022). Selanjutnya, artikel yang memenuhi kriteria akan dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi tema-tema utama dan tren dalam pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri.

Setelah proses penyaringan, peneliti akan melakukan analisis mendalam terhadap artikel yang terpilih. Analisis ini mencakup pengumpulan data terkait jenis material baru yang telah dikembangkan, efektivitasnya dibandingkan dengan teknologi konvensional, serta tantangan yang dihadapi dalam penerapannya. Data yang diperoleh akan disusun dan disintesis untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai status terkini penelitian di bidang ini (Triandini et al., 2019). Melalui menggunakan metode SLR, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pemahaman dan pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

A. Jenis Material Baru dan Penerapannya dalam Pengolahan Limbah Industri

Hasil dari tinjauan sistematis literatur ini menunjukkan bahwa pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri telah menjadi fokus penelitian yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Berbagai jenis material baru telah diidentifikasi, yang mencakup adsorben berbasis biomassa, nano-material, dan teknologi bioremediasi. Penelitian oleh (Setyobudiarso & Yuwono, 2014) menunjukkan bahwa kombinasi pasir dan arang aktif mampu menurunkan nilai turbidity, COD, dan TSS dalam limbah cair laundry secara signifikan, dengan efisiensi yang meningkat seiring dengan peningkatan tekanan. Hal ini menunjukkan potensi penggunaan material baru dalam meningkatkan kualitas air limbah.

B. Efektivitas Material Koagulan Baru dalam Pengolahan Limbah Industri Tekstil

Penelitian oleh (Lolo & Pambudi, 2020) mengungkapkan bahwa penggunaan koagulan seperti FeSO_4 dan PAC dalam pengolahan limbah cair industri tekstil dapat mengurangi BOD dan COD secara efisien. Penelitian ini menunjukkan bahwa setelah proses koagulasi, nilai BOD dapat turun hingga 85,63% dan COD hingga 82,67%. Ini menunjukkan bahwa material baru dalam bentuk koagulan dapat memberikan solusi yang efektif untuk mengurangi pencemaran limbah industri.

C. Potensi Teknologi Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Limbah Industri Kaya Bahan Organik

Metode elektrooksidasi dan elektrokoagulasi juga telah diteliti sebagai alternatif dalam pengolahan limbah industri. Penelitian (Yuniarti & Widayatno, 2022) melaporkan bahwa metode ini dapat menurunkan BOD dari 1479,9 mg/L menjadi 104,91 mg/L, dan COD dari 829,2 mg/L menjadi 212,29 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa teknologi elektrokoagulasi dapat menjadi pilihan yang menjanjikan dalam pengolahan limbah yang kaya akan bahan organik.

D. Potensi Larva *Hermetia illucens* dalam Biokonversi Limbah Industri Perikanan

Pada konteks biokonversi, penelitian oleh (Hakim et al., 2017) menunjukkan potensi larva *Hermetia illucens* dalam mengolah limbah industri pengolahan hasil perikanan. Melalui substrate reduction mencapai 77,09%, larva ini menunjukkan kemampuan yang tinggi dalam mengurangi limbah organik, sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengolahan limbah industri.

E. Karakterisasi Limbah Cair dalam Pengembangan Material Baru untuk Pengolahan Limbah

Karakterisasi limbah cair juga menjadi penting dalam pengembangan material baru. Penelitian oleh (Khotimah et al., 2021) mengidentifikasi bahwa limbah dapur memiliki kandungan pencemar tertinggi dibandingkan dengan sumber limbah lainnya. Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih spesifik dalam pengembangan material baru yang dapat menargetkan jenis limbah tertentu.

F. Efektivitas Metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Penyisihan COD Limbah Cair Hotel

Penelitian mengenai penggunaan metode multi soil layering (MSL) dalam penyisihan COD dari limbah cair hotel menunjukkan hasil yang positif. Penelitian oleh (Elystia et al., 2012) melaporkan bahwa metode ini berhasil menurunkan konsentrasi COD dari 132,600 mg/L menjadi 12,480 mg/L. Ini menunjukkan bahwa teknik layering dapat menjadi solusi yang efektif untuk pengolahan limbah cair yang kompleks.

G. Potensi Material Preservasi Mikroorganisme (MPMO) dalam Pengolahan Limbah Industri Tekstil

Pada pengolahan limbah industri tekstil, penggunaan material preservasi mikroorganisme (MPMO) telah terbukti efektif dalam penyisihan logam berat seperti timbal dan kromium. Penelitian oleh (Gani et al., 2023) melaporkan bahwa penggunaan MPMO dalam reaktor batch dapat menurunkan konsentrasi Pb dan Cr secara signifikan, menunjukkan potensi material baru dalam pengolahan limbah berbahaya.

H. Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas sebagai Sumber Energi Berkelanjutan

Penelitian tentang pengolahan limbah kelapa sawit juga menunjukkan bahwa limbah padat dapat dimanfaatkan untuk produksi biogas. Penelitian oleh (Hermanto et al., 2021) mencatat bahwa potensi limbah padat dari industri kelapa sawit di Kalimantan Timur mencapai 800 juta ton, yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keberlanjutan energi di industri tersebut.

I. Peran Adsorben dalam Pengolahan Limbah Pewarna Industri Tekstil untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan

Penggunaan adsorben dalam pengolahan limbah pewarna dari kerajinan tenun ikat menunjukkan hasil yang menjanjikan. Penelitian oleh (Purnomo et al., 2022) menekankan pentingnya penggunaan adsorben yang tepat untuk mengurangi pencemaran warna di sungai, yang merupakan masalah serius dalam industri tekstil. Ini menunjukkan bahwa pengembangan material baru tidak hanya berfokus pada efisiensi, tetapi juga pada dampak lingkungan yang lebih luas.

Pembahasan

A. Jenis Material Baru dan Penerapannya dalam Pengolahan Limbah Industri

Pengembangan material baru untuk pengolahan limbah industri menunjukkan bahwa pendekatan inovatif dalam pemilihan dan penggunaan material dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi pengolahan limbah. Penelitian yang dilakukan oleh (Setyobudiarso & Yuwono, 2014) menggarisbawahi efektivitas kombinasi pasir dan arang aktif dalam menurunkan parameter kualitas air limbah, seperti turbidity, COD, dan TSS, yang menunjukkan bahwa pemanfaatan material baru dapat meningkatkan proses pengolahan limbah secara signifikan. Selain itu, penggunaan adsorben berbasis biomassa dan nano-material, seperti yang diungkapkan dalam penelitian oleh (Zahro & Adityosulindro, 2023) dan (Agustiani et al., 2021), menunjukkan potensi besar dalam mengurangi kontaminan di air limbah, termasuk zat warna dan amonia. Teknologi bioremediasi juga menjadi sorotan, di mana penelitian oleh (Priadie, 2012) menunjukkan bahwa isolasi dan penggunaan mikroorganisme dapat menjadi alternatif yang efektif untuk mengatasi pencemaran air. Dengan demikian, pengembangan material baru tidak hanya berfokus pada efisiensi teknis, tetapi juga pada keberlanjutan dan dampak lingkungan yang lebih luas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi aplikasi praktis dari material baru ini dalam skala industri, serta untuk mengidentifikasi tantangan yang mungkin dihadapi dalam implementasinya.

B. Efektivitas Material Koagulan Baru dalam Pengolahan Limbah Industri Tekstil

Diskusi mengenai penggunaan koagulan dalam pengolahan limbah cair industri tekstil menunjukkan bahwa material baru seperti FeSO₄ dan PAC memiliki potensi yang signifikan dalam mengurangi pencemaran lingkungan. Penelitian oleh (Lolo & Pambudi, 2020) mengungkapkan bahwa penerapan koagulasi dapat menurunkan nilai BOD hingga 85,63% dan COD hingga 82,67%, yang menunjukkan efektivitas tinggi dari metode ini dalam mengolah limbah yang kaya akan bahan organik. Hasil ini sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa koagulan berbasis aluminium, seperti PAC, juga mampu meningkatkan kualitas air dengan efisiensi yang baik dalam mengurangi turbidity dan parameter pencemar lainnya (Marlinda et al., 2023; Prasetya & Saptomo, 2018). Selain itu, penggunaan koagulan alami seperti biji asam jawa dan kitosan juga mulai mendapatkan perhatian sebagai alternatif yang ramah lingkungan dalam pengolahan limbah

(Pembayun & Rahmayanti, 2020; Sabara et al., 2021). Dengan demikian, pengembangan dan penerapan koagulan baru dalam proses pengolahan limbah cair tidak hanya memberikan solusi yang efektif untuk mengurangi pencemaran, tetapi juga mendukung upaya keberlanjutan dalam industri tekstil. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi dosis optimal dan kombinasi koagulan yang dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah di berbagai kondisi.

C. Potensi Teknologi Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Limbah Industri Kaya Bahan Organik

Metode elektrooksidasi dan elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah industri menunjukkan bahwa teknologi ini menawarkan solusi yang sangat efektif untuk mengatasi masalah pencemaran yang dihasilkan oleh limbah kaya bahan organik. Penelitian oleh (Yuniarti & Widayatno, 2022) mengungkapkan bahwa penerapan metode ini dapat menurunkan BOD dari 1479,9 mg/L menjadi 104,91 mg/L, dan COD dari 829,2 mg/L menjadi 212,29 mg/L, yang menunjukkan efisiensi tinggi dalam proses pengolahan. Hasil ini sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa elektrokoagulasi dapat mengurangi parameter pencemaran secara signifikan, termasuk TSS, yang sering kali menjadi tantangan dalam pengolahan limbah cair (Sulistyaningsih & Rachmanto, 2023). Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya untuk mengolah limbah dalam waktu yang relatif singkat dan dengan penggunaan energi yang efisien, menjadikannya pilihan yang menjanjikan untuk industri yang menghasilkan limbah organik tinggi. Selain itu, kombinasi elektrooksidasi dengan teknik lain, seperti fotokatalisis, juga menunjukkan potensi untuk meningkatkan efisiensi pengolahan lebih lanjut (Sulistyaningsih & Rachmanto, 2023). Dengan demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi optimalisasi kondisi operasional dan penerapan metode ini dalam skala industri yang lebih besar, serta untuk mengevaluasi dampak lingkungan jangka panjang dari penggunaan teknologi ini.

D. Potensi Larva *Hermetia illucens* dalam Biokonversi Limbah Industri Perikanan

Potensi larva *Hermetia illucens* dalam pengolahan limbah industri pengolahan hasil perikanan menunjukkan bahwa teknologi biokonversi ini dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi limbah organik. Penelitian oleh (Hakim et al., 2017) mengungkapkan bahwa larva ini mampu mencapai substrate reduction sebesar 77,09%, yang menunjukkan efisiensi tinggi dalam mengolah limbah yang kaya akan bahan organik. Keberhasilan larva BSF dalam mengurai limbah tidak hanya berkontribusi pada pengurangan volume limbah, tetapi juga berpotensi menghasilkan biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau sumber protein alternatif. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa larva ini dapat tumbuh dengan baik pada berbagai jenis limbah organik, termasuk limbah dari industri makanan dan hasil pertanian, yang semakin memperkuat argumen bahwa *H. illucens* adalah kandidat yang menjanjikan untuk pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Dengan demikian, penerapan larva BSF dalam skala industri dapat memberikan manfaat ganda, yaitu pengurangan limbah dan produksi sumber daya yang berguna, yang mendukung tujuan keberlanjutan lingkungan.

E. Karakterisasi Limbah Cair dalam Pengembangan Material Baru untuk Pengolahan Limbah

Karakterisasi limbah cair menunjukkan bahwa pemahaman mendalam tentang komposisi dan sifat limbah sangat penting dalam pengembangan material baru untuk pengolahan limbah. Penelitian oleh (Khotimah et al., 2021) mengidentifikasi bahwa limbah dapur memiliki kandungan pencemar tertinggi dibandingkan dengan sumber limbah lainnya, yang menekankan perlunya pendekatan yang lebih spesifik dalam merancang material pengolah limbah. Hal ini sejalan dengan temuan dalam penelitian lain yang menunjukkan bahwa karakteristik limbah, seperti tingkat BOD, COD, dan TSS, dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada sumbernya (Al Kholif, 2018; Hasan & Suprapti, 2021). Dengan demikian, pengembangan material baru harus mempertimbangkan jenis limbah yang akan diolah untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pengolahan. Misalnya, material yang dirancang untuk mengatasi limbah dapur mungkin memerlukan sifat adsorpsi yang lebih tinggi untuk mengurangi kadar bahan organik, sementara limbah industri mungkin memerlukan material yang lebih tahan terhadap senyawa berbahaya. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi dan mengembangkan material yang dapat secara efektif menargetkan berbagai jenis limbah, sehingga mendukung upaya pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan dan efisien.

F. Efektivitas Metode *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Penyisihan COD Limbah Cair Hotel

Penggunaan metode *multi soil layering* (MSL) dalam penyisihan COD dari limbah cair hotel menunjukkan bahwa teknik ini merupakan solusi yang sangat efektif untuk mengatasi tantangan pengolahan limbah yang kompleks. Penelitian oleh Elystia et al. melaporkan penurunan konsentrasi COD dari 132,600 mg/L menjadi 12,480 mg/L, yang menunjukkan

kemampuan MSL dalam mengurangi beban pencemaran secara signifikan. Hasil ini sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa metode MSL dapat meningkatkan kualitas air limbah dengan cara memanfaatkan lapisan tanah yang berbeda untuk menyaring dan menguraikan kontaminan. Selain itu, MSL juga menawarkan keuntungan dalam hal keberlanjutan, karena menggunakan proses alami yang dapat mengurangi kebutuhan energi dan bahan kimia dalam pengolahan limbah. Dengan demikian, penerapan metode ini tidak hanya memberikan hasil yang positif dalam pengurangan COD, tetapi juga mendukung praktik pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi optimasi desain dan kondisi operasional MSL dalam berbagai konteks limbah, sehingga dapat diimplementasikan secara lebih luas dalam industri pengolahan limbah.

G. Potensi Material Preservasi Mikroorganisme (MPMO) dalam Pengolahan Limbah Industri Tekstil

Penggunaan material preservasi mikroorganisme (MPMO) dalam pengolahan limbah industri tekstil menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki potensi yang signifikan dalam mengatasi masalah pencemaran logam berat, seperti timbal dan kromium. Penelitian oleh (Gani et al., 2023) mengungkapkan bahwa penerapan MPMO dalam reaktor batch berhasil menurunkan konsentrasi Pb dan Cr secara signifikan, yang menunjukkan efektivitas metode ini dalam mengolah limbah berbahaya. Hasil ini sejalan dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat berperan penting dalam proses bioremediasi, dengan kemampuan untuk mengadsorpsi dan mendegradasi kontaminan berbahaya (Rachmawati et al., 2022). Selain itu, penggunaan MPMO tidak hanya berfokus pada pengurangan kadar logam berat, tetapi juga dapat meningkatkan kualitas air limbah secara keseluruhan, menjadikannya alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan dengan metode pengolahan konvensional yang sering kali memerlukan bahan kimia berbahaya. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut dari teknologi ini, termasuk optimasi kondisi operasional dan pemilihan jenis mikroorganisme yang tepat, sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengolahan limbah industri tekstil.

H. Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas sebagai Sumber Energi Berkelanjutan

Pengolahan limbah kelapa sawit menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah padat dari industri ini untuk produksi biogas memiliki potensi yang sangat besar dalam meningkatkan keberlanjutan energi. Penelitian oleh (Hermanto et al., 2021) mencatat bahwa limbah padat dari industri kelapa sawit di Kalimantan Timur mencapai 800 juta ton pada tahun 2019, yang jika dikelola dengan baik, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan melalui proses anaerobik. Potensi besar ini tidak hanya dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah yang dihasilkan, tetapi juga dapat menyediakan alternatif energi yang lebih bersih dan berkelanjutan bagi industri dan masyarakat sekitar. Selain itu, konversi limbah padat menjadi biogas dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil, serta mendukung inisiatif keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya alam. Dengan demikian, penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknologi yang efisien untuk memanfaatkan limbah padat ini sangat diperlukan untuk mengoptimalkan potensi energi yang ada dan mendukung praktik pengelolaan limbah yang lebih baik di sektor kelapa sawit.

I. Peran Adsorben dalam Pengolahan Limbah Pewarna Industri Tekstil untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan

Penggunaan adsorben dalam pengolahan limbah pewarna dari kerajinan tenun ikat menunjukkan bahwa pemilihan material yang tepat sangat penting untuk mengurangi pencemaran warna di sungai, yang merupakan masalah serius dalam industri tekstil. Penelitian oleh (Purnomo et al., 2022) menekankan bahwa efektivitas adsorben dalam menyerap zat warna tidak hanya bergantung pada sifat fisik dan kimia dari adsorben itu sendiri, tetapi juga pada karakteristik limbah yang diolah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan adsorben yang sesuai dapat secara signifikan menurunkan konsentrasi warna dalam limbah, sehingga membantu menjaga kualitas air sungai dan mengurangi dampak lingkungan dari limbah industri. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa berbagai jenis adsorben, seperti silika dan bahan organik, dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi proses adsorpsi. Oleh karena itu, pengembangan material baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah pewarna sangat diperlukan, tidak hanya untuk meningkatkan efisiensi teknis, tetapi juga untuk mendukung keberlanjutan lingkungan yang lebih luas.

Kesimpulan

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi dan menganalisis berbagai material baru yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah industri, serta untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang

teknologi yang ada saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi efektivitas material baru dalam mengurangi dampak pencemaran yang dihasilkan oleh limbah industri, serta untuk memberikan rekomendasi bagi pengembangan teknologi pengolahan limbah yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material seperti silika dan nano adsorben telah terbukti efektif dalam mengurangi kontaminan dalam limbah cair industri. Misalnya, silika yang diperoleh dari limbah pertanian seperti sekam padi menunjukkan potensi besar sebagai adsorben yang dapat dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi. Selain itu, teknologi biosorpsi juga menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam pengurangan logam berat pada limbah cair industri percetakan, dengan penggunaan bahan kimia yang minimal. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa penggunaan nano adsorben dalam pengolahan limbah industri pengolahan rumput laut dapat meningkatkan efektivitas pengurangan polutan dibandingkan dengan metode tradisional yang menggunakan karbon aktif granular.

Mengenai penelitian di masa depan, ada beberapa arah yang dapat diambil untuk memperdalam pemahaman tentang pengolahan limbah industri. Pertama, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi kombinasi material baru dan teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah. Misalnya, integrasi teknologi biosorpsi dengan metode fisika dan kimia dapat menjadi area yang menarik untuk diteliti lebih lanjut. Selain itu, penelitian tentang dampak jangka panjang dari penggunaan material baru dalam pengolahan limbah juga penting untuk memastikan keberlanjutan dan keamanan lingkungan. Penelitian tentang penerapan teknologi pengolahan limbah di industri kecil dan menengah juga perlu dilakukan, mengingat banyaknya limbah yang dihasilkan dari sektor ini yang sering kali tidak terkelola dengan baik.

Namun, penelitian ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu keterbatasan utama adalah kurangnya data empiris yang mendukung efektivitas material baru dalam kondisi lapangan yang bervariasi. Banyak studi yang ada masih bersifat laboratorium dan belum diuji secara luas di lapangan. Selain itu, variasi dalam karakteristik limbah industri dari berbagai sektor dapat mempengaruhi hasil pengolahan, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi material yang paling sesuai untuk setiap jenis limbah. Keterbatasan lain adalah kurangnya studi yang membahas biaya dan aspek ekonomi dari penerapan teknologi baru dalam pengolahan limbah, yang merupakan faktor penting dalam adopsi teknologi di industri.

Implikasi dari penelitian ini sangat signifikan, terutama dalam konteks pengembangan teknologi pengolahan limbah yang lebih ramah lingkungan. Dengan mengidentifikasi dan mengevaluasi material baru yang efektif, penelitian ini dapat membantu industri dalam mengurangi dampak negatif dari limbah yang dihasilkan, serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan dan regulasi yang mendukung penggunaan teknologi inovatif dalam pengolahan limbah, serta mendorong kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah dalam upaya mengatasi masalah pencemaran. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada ilmu pengetahuan, tetapi juga memiliki potensi untuk memberikan manfaat nyata bagi masyarakat dan lingkungan.

Konflik Kepentingan

Tidak ada potensi konflik kepentingan yang relevan dengan artikel ilmiah penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada afiliasi kami.

Daftar Pustaka

Agustiani, T., Saefumillah, A., & Ambarsari, H. (2021). Studi Pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Raw Material Adsorben SiC dalam Penurunan Konsentrasi Amonia sebagai Parameter Bau dalam Air Limbah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 190–198. <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i2.4838>

- Ahmad Fahrudin, & Eka Maryam. (2022). Review Analisis Pendidikan Fisika Berbasis Etnosains, Budaya, dan Kearifan Lokal di Indonesia. *Jurnal Riset Rumpun Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 1(1), 12–24. <https://doi.org/10.55606/jurrimipa.v1i1.126>
- Al Kholif, M. (2018). Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Domestik dengan Menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (MBBR). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.29080/alard.v4i1.365>
- AlKahfi, M. I., Razikah, Y. A., & Nurisman, E. (2021). Pengolahan Limbah Cair Amonia Pada Industri Pupuk Secara Mikrobiologis dengan Bakteri Petrofilik. *Jurnal Teknik Kimia*, 27(3), 74–81. <https://doi.org/10.36706/jtk.v27i3.686>
- Elystia, S., Indah, S., & Helard, D. (2012). Efisiensi Metode Multi Soil Layering (MSL) dalam Penyisihan COD Dari Limbah Cair Hotel (Studi Kasus: Hotel Padang). *Jurnal Dampak*, 9(2), 98. <https://doi.org/10.25077/dampak.9.2.98-105.2012>
- Emerseon, E., Syarief, R., & Asmara, A. (2021). Strategi Keberlanjutan Pemanfaatan Biogas Industri Tapioka di PD XYZ. *Manajemen IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 15(1), 84–93. <https://doi.org/10.29244/mikm.15.1.84-93>
- Gani, J. F., Taroepratjeka, D. A. H., & Marganingrum, D. (2023). Efisiensi Penggunaan Material Preservasi Mikroorganisme (MPMO) dalam Penyisihan Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) Pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Reaktor Batch. *Jurnal Reka Lingkungan*, 11(2), 130–139. <https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v11i2.130-139>
- Hakim, A. R., Prasetya, A., & Petrus, H. T. B. . (2017). Potensi Larva Hermetia Illucens Sebagai Pereduksi Limbah Industri Pengolahan Hasil Perikanan. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(1), 39. <https://doi.org/10.22146/jfs.26461>
- Hasan, A., & Suprapti, S. C. (2021). Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit dengan Metode Lahan Basah Buatan (Constructed Wetland) dan Tanaman Air Typha latifolia. *Jurnal Kesehatan*, 12(3), 446–456. <https://doi.org/10.26630/jk.v12i3.2697>
- Hermanto, H., Heryadi, E., Heryadi, E., Susanty, A., & Susanty, A. (2021). Potensi Biogas dari Limbah Padat Industri Kelapa Sawit di Kalimantan Timur. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(2), 487. <https://doi.org/10.26578/jrti.v15i2.7361>
- Hevira, L., Zein, R., & Ramadhani, P. (2019). Review: Metoda Adsorpsi pada Penyerapan Ion Logam dan Zat Warna dalam Limbah Cair. *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 13(1), 39. <https://doi.org/10.20527/jstk.v1i1.5906>
- Khotimah, S. N., Anisa Mardhotillah, N., Arifaini, N., & Sumiharni. (2021). Karakterisasi Limbah Cair Greywater pada level Rumah Tangga Berdasarkan Sumber Emisi. *Jurnal Sainiti*, 21(02), 71–78. [https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21\(02\).7876](https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21(02).7876)
- Kurniati, Y., Prastuti, O. P., & Septiani, E. L. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Metil Biru Menggunakan Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 3(1), 34–38. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v3i1.87>
- Lolo, E. U., & Pambudi, Y. S. (2020). Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Industri Tekstil Secara Koagulasi Flokulasi (Studi Kasus: IPAL Kampung Batik Laweyan, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia). *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3). <https://doi.org/10.32672/jse.v5i3.2072>
- Marlinda, M., Hartati, R., Hidjrawan, Y., & Kasmawati, K. (2023). Optimalisasi Penjernihan Air PDAM Tirta Meulaboh Menggunakan Aluminium Sulfat (Tawas) dan Poly Aluminium Chloride (PAC). *Jurnal Optimalisasi*, 9(1), 24. <https://doi.org/10.35308/joopt.v9i1.6386>

- Munandar, A., Muhammad, S., & Mulyati, S. (2016). Penyisihan COD dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Nano Karbon Aktif. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(1), 24–31. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i1.4231>
- Nursabrina, A., Joko, T., & Septiani, O. (2021). Kondisi Pengelolaan Limbah B3 Industri di Indonesia dan Potensi Dampaknya: Studi Literatur. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 80–90. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v13i1.1841>
- Pembayun, S. W. R., & Rahmayanti, M. (2020). Efektivitas Biji Asam Jawa Sebagai Koagulan Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red dan Nilai COD. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 9(2), 162–169. <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v9i2.28171>
- Prasetya, P. E., & Saptomo, S. K. (2018). Perbandingan Kebutuhan Koagulan Al₂(SO₄)₃ dan PAC Untuk Pengolahan Air Bersih Di WTP Sungai Ciapus Kampus IPB Dramaga. *Bumi Lestari Journal of Environment*, 18(2), 75. <https://doi.org/10.24843/blje.2018.v18.i02.p05>
- Priadie, B. (2012). Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38. <https://doi.org/10.14710/jil.10.1.38-48>
- Purnomo, A. S., Nurhadi, H., Nawfa, R., Putro, H. S., Rizqi, H. D., Hakim, M. L., Asranudin, A., Alkas, T. R., Rohmah, A. A., Yuniarti, E. P., & Nabila, B. (2022). Penggunaan Adsorben dalam Pengolahan Limbah Pewarna dari Kerajinan Tenun Ikat di Desa Parengan, Kecamatan Maduran, Kabupaten Lamongan Sebagai Upaya Mengurangi Pencemaran Pewarna di Sungai Bengawan Solo. *Sewagati*, 6(1), 107–115. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v6i1.188>
- Rachmawati, V., Nurjayati, R., & Yuniati, M. D. (2022). Penurunan Konsentrasi COD Limbah Batik Pada Proses Seeding dan Aklimatisasi Menggunakan Material Preservasi Mikroorganisme (MPMO). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(1), 73–82. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.73-82>
- Rahayu, A., Maryudi, M., Hanum, F. F., Fajri, J. A., Anggraini, W. D., & Khasanah, U. (2022). Review: Pengolahan Limbah Cair Industri dengan Menggunakan Silika. *Open Science and Technology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.33292/ost.vol2no1.2022.38>
- Sabara, Z., Artiningsih, A., Efendi, A., & Yulistianingsih, A. I. (2021). Artikel Review: Penggunaan Kitosan dan Biji Asam Sebagai Biokoagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Sumur di Sekitar TPA Sampah Antang. *Journal of Chemical Process Engineering*, 6(1), 48–52. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v6i1.742>
- Setyobudiarso, H., & Yuwono, E. (2014). Rancang Bangun Alat Penjernih Air Limbah Cair Laundry dengan Menggunakan Media Penyaring Kombinasi Pasir – Arang Aktif. *Jurnal Neutrino*. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.2587>
- Sulistyaningsih, A., & Rachmanto, T. A. (2023). Peningkatan Efektivitas Elektrokoagulasi dan Fotokatalis Pada Proses Degradasi Limbah Batik. *Enviroous*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.33005/enviroous.v1i1.17>
- Triandini, E., Jayanatha, S., Indrawan, A., Werla Putra, G., & Iswara, B. (2019). Metode Systematic Literature Review untuk Identifikasi Platform dan Metode Pengembangan Sistem Informasi di Indonesia. *Indonesian Journal of Information Systems*, 1(2), 63. <https://doi.org/10.24002/ijis.v1i2.1916>
- Wathoni, A. Z., Pratiwi, A. I., & Suci, F. C. (2021). Penurunan Kadar Logam Berat Nikel Limbah Cair Industri Pada Pengolahan Air Limbah Industri di Karawang. *Journal of Industrial Process and Chemical Engineering (JOICHE)*, 1(2), 40–45. <https://doi.org/10.31284/j.joiche.2021.v1i2.2440>
- Yuniarti, B. I., & Widayatno, T. (2022). Analisa Perubahan BOD, COD, dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Metode Elektrooksidasi-Elektrokoagulasi Elektroda Fe-C dengan Sistem

Semi Kontinyu. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 5(3), 238–247. <https://doi.org/10.26760/jrh.v5i3.238-247>

Zahro, S. F., & Adityosulindro, S. (2023). Literature Review: Penggunaan Bahan Berbasis Limbah Sebagai Adsorben untuk Degradasi Zat Warna pada Air Limbah. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 359–368. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.3.359-368>