

**Mohamad Fatur  
Ramdan<sup>1</sup>  
Astri Zahra<sup>2</sup>  
Adi Rusdi Widya<sup>3</sup>**

## **PENGELOLAAN LIMBAH DAN DAMPAK LINGKUNGAN PADA PABRIK KIMIA DAN RUMAH SAKIT : STUDI LITERATUR MENGENAI HUBUNGAN PRODUK DAN LIMBAH DENGAN PENDEKATAN INPUT-PROSES-OUTPUT**

### **Abstrak**

Pengelolaan limbah di pabrik kimia dan rumah sakit merupakan tantangan utama dalam menjaga kesehatan lingkungan. Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dari pabrik kimia dan limbah medis infeksius dari rumah sakit berpotensi mencemari tanah, air, dan udara. Penelitian ini menggunakan pendekatan Input-Proses-Output (IPO) untuk mengevaluasi hubungan antara sumber limbah, proses pengelolaan, dan dampaknya terhadap lingkungan. Tahapan IPO melibatkan identifikasi input (sumber limbah), analisis proses pengelolaan, serta evaluasi output berupa dampak lingkungan dan hasil pengolahan. Metode analisis dilakukan melalui studi literatur terkini dengan menyoroti penerapan teknologi seperti autoklaf, insinerator, dan metode daur ulang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan IPO dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah, meminimalkan emisi berbahaya, dan menghasilkan produk sampingan yang bermanfaat. Namun, tantangan seperti kurangnya teknologi ramah lingkungan dan kesadaran masyarakat perlu segera diatasi. Kesimpulan menunjukkan bahwa pendekatan IPO dapat menjadi solusi sistematis untuk mengoptimalkan pengelolaan limbah di kedua sektor, dengan didukung kebijakan dan teknologi yang relevan untuk keberlanjutan lingkungan.

**Kata Kunci:** Lingkungan, Limbah, Input-Process-Output.

### **Abstract**

Waste management in chemical plants and hospitals is a major challenge in maintaining environmental health. Hazardous and toxic (B3) waste from chemical plants and infectious medical waste from hospitals have the potential to contaminate soil, water and air. This study utilized the Input-Process-Output (IPO) approach to evaluate the relationship between waste sources, management processes, and their impact on the environment. The IPO stages involve identifying inputs (waste sources), analyzing the management process, and evaluating outputs in the form of environmental impacts and treatment results. The analysis method was conducted through a study of current literature by highlighting the application of technologies such as autoclaves, incinerators, and recycling methods. The results show that the IPO approach can improve waste management efficiency, minimize harmful emissions, and generate useful by-products. However, challenges such as the lack of environmentally friendly technologies and public awareness need to be addressed. The conclusion shows that the IPO approach can be a systematic solution to optimize waste management in both sectors, supported by relevant policies and technologies for environmental sustainability.

**Keywords:** Environment, Waste, Input-Process-Output.

### **PENDAHULUAN**

Pengelolaan limbah merupakan salah satu tantangan terbesar dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, terutama di sektor industri seperti pabrik kimia dan fasilitas kesehatan seperti rumah sakit. Limbah yang dihasilkan dari kedua sektor ini memiliki

<sup>1,2,3)</sup>Teknik Industri, Teknik, Universitas Pelita Bangsa, Bekasi, Jawa Barat,  
email: kagurachery12@gmail.com, astrizahra89@gmail.com, adirusdiw@pelitabangsa.ac.id

karakteristik yang berbeda dan sering kali mengandung bahan berbahaya yang dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia serta ekosistem. Oleh karena itu, pemahaman tentang keterkaitan antara produk, proses, dan limbah menjadi krusial dalam merancang strategi pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi serta menganalisis literatur terkait pengelolaan limbah dan dampak lingkungan yang dihasilkan oleh pabrik kimia dan rumah sakit dengan menggunakan pendekatan input-proses-output yang menyeluruh.

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana pengelolaan limbah yang tidak efektif dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta risiko kesehatan yang serius. Limbah dari pabrik kimia umumnya mengandung bahan kimia berbahaya, sedangkan limbah rumah sakit seringkali membawa patogen yang berpotensi menular. Menurut Magrini et al. (2020)[1], kebijakan pengelolaan limbah yang lemah dapat memperparah permasalahan ini, terutama di negara-negara berkembang. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih inovatif dan berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif dari limbah tersebut.

Literatur yang ada menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang efektif memerlukan kolaborasi yang erat antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, sektor industri, dan masyarakat. Acharya et al. (2021)[2] menekankan pentingnya kesadaran masyarakat dalam pengelolaan limbah, terutama dalam situasi krisis seperti pandemi COVID-19 yang meningkatkan volume limbah domestik. Selain itu, Teshome et al. (2022)[3] menyoroti pentingnya dukungan teknis dan partisipasi publik dalam memastikan keberhasilan program pengelolaan limbah. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengevaluasi berbagai pendekatan dan solusi yang diusulkan dalam literatur untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah di sektor pabrik kimia dan rumah sakit.

Pendekatan yang akan dianalisis dalam penelitian ini meliputi penerapan teknologi inovatif serta praktik terbaik dalam pengelolaan limbah. Misalnya, penggunaan teknologi daur ulang yang efisien dan sistem pengelolaan limbah berbasis komunitas dapat membantu meminimalkan volume limbah. Fischer et al. (2020)[4] menyatakan bahwa pekerja di sektor pengelolaan limbah elektronik menghadapi risiko kesehatan yang signifikan, sehingga diperlukan langkah-langkah perlindungan yang tepat. Selain itu, Godfrey et al. (2020)[5] menyoroti pentingnya tata kelola yang efektif untuk menciptakan lingkungan yang mendukung praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada identifikasi inovasi dalam pengelolaan limbah, termasuk penerapan teknologi cerdas dan pendekatan berbasis data. Kolodiichuk et al. (2021)[6] menyatakan bahwa sistem pengelolaan limbah yang berkelanjutan memerlukan transformasi dari beban lingkungan menjadi sumber daya ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai inovasi yang telah diimplementasikan di berbagai negara dan sektor serta mengevaluasi efektivitasnya dalam mengurangi dampak lingkungan.

Pentingnya pengelolaan limbah yang baik dalam menjaga keberlanjutan lingkungan tidak dapat diabaikan. Limbah yang tidak dikelola dengan benar dapat menyebabkan pencemaran tanah, air, dan udara, serta berdampak negatif pada kesehatan manusia. Riali (2020)[7] menekankan bahwa penerapan konsep zero waste dapat membantu mengurangi produksi sampah dan meningkatkan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengeksplorasi penerapan konsep zero waste dalam konteks pengelolaan limbah di pabrik kimia dan rumah sakit.

Hubungan kompleks antara produk, proses, dan limbah di sektor manufaktur dan non-manufaktur juga menjadi fokus penting dalam penelitian ini. Maphosa & Maphosa (2020)[8] menunjukkan bahwa kurangnya kebijakan yang memadai dan penanganan yang tepat dapat menghambat upaya pengelolaan limbah elektronik. Penelitian ini akan mengkaji bagaimana hubungan ini dapat dioptimalkan untuk menciptakan sistem pengelolaan limbah yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan memahami interaksi antara produk, proses, dan limbah, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih efektif untuk mengatasi tantangan pengelolaan limbah.

Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang pengelolaan limbah dan dampaknya terhadap lingkungan di sektor pabrik kimia dan rumah sakit. Dengan menganalisis literatur yang ada serta mengevaluasi pendekatan inovatif, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pengembangan strategi pengelolaan

limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan dan praktik terbaik dalam pengelolaan limbah di sektor-sektor yang sangat strategis ini.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada pengelolaan limbah, tetapi juga pada dampak yang lebih luas terhadap keberlanjutan lingkungan dan ekonomi. Melalui pendekatan yang sistematis dan berbasis bukti, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan praktik pengelolaan limbah yang lebih baik di sektor manufaktur dan non-manufaktur di Cikarang [9][10].

## METODE

### Kriteria Seleksi Literatur

Dalam penelitian ini, kriteria seleksi literatur ditetapkan untuk memastikan relevansi dan keandalan sumber yang digunakan. Pertama, literatur yang dipilih harus dipublikasikan dalam rentang waktu 2019 hingga 2024 untuk memastikan bahwa informasi yang digunakan adalah terkini dan relevan dengan konteks saat ini. Kedua, topik yang dibahas dalam literatur harus berkaitan langsung dengan pengelolaan limbah, dampak lingkungan, dan pendekatan input-proses-output (IPO) dalam konteks perusahaan manufaktur dan non-manufaktur. Ketiga, hanya sumber dari jurnal terakreditasi dan terindeks yang dipertimbangkan, untuk menjamin keandalan dan validitas informasi yang diperoleh (Hasiana et al., 2021; , Absori & Latif, 2020)[11][12].

### Strategi Pencarian Literatur

Literatur dicari menggunakan beberapa database akademik terkemuka, termasuk Google Scholar, Scopus, dan PubMed. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi "pengelolaan limbah", "dampak lingkungan", "input-proses-output", " Pabrik limbah ", dan "rumah sakit". Pencarian dilakukan dengan menggunakan kombinasi kata kunci tersebut dalam berbagai variasi untuk memastikan cakupan yang luas. Selain itu, pendekatan sistematis juga diterapkan dengan mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) untuk memastikan bahwa proses pencarian dan seleksi literatur dilakukan dengan transparan dan terstruktur (Anggarini, 2023; , Harninda, 2023).[13][14]

### Analisis Literatur

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pengelompokan informasi dari berbagai sumber berdasarkan tema dan relevansi terhadap pertanyaan penelitian. Setiap sumber diringkas untuk menyoroti temuan utama, metodologi yang digunakan, dan rekomendasi yang diberikan. Setelah itu, informasi dari berbagai sumber disintesis untuk mengidentifikasi pola dan hubungan yang muncul dalam pengelolaan limbah dan dampaknya terhadap lingkungan. Proses ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai praktik pengelolaan limbah yang efektif dan inovatif di sektor industri (Normawati et al., 2021; , Hendriana, 2023).[15][14]

### Prosedur Analisis Data

Prosedur analisis data dimulai dengan identifikasi literatur yang relevan berdasarkan kriteria seleksi yang telah ditetapkan. Setelah literatur terpilih, data diklasifikasikan menggunakan kerangka IPO, yang mencakup input (bahan baku dan sumber daya), proses (metode produksi dan pengelolaan limbah), dan output (produk akhir dan limbah yang dihasilkan). Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap hubungan antara setiap elemen dalam proses produksi dan dampaknya terhadap lingkungan (Adzkia, 2024; , Trisnawati & Suwandana, 2021).[16][17]

Dalam laporan eksperimen yang telah selesai, berbagai metode statistik digunakan untuk menguji signifikansi hasil. Uji chi-square diterapkan untuk menganalisis hubungan antara variabel, seperti pengetahuan dan sikap tenaga kesehatan terhadap pengelolaan limbah medis (Dani, 2023)[18]. Selain itu, analisis regresi berganda digunakan untuk mengevaluasi pengaruh faktor-faktor tertentu terhadap pengelolaan limbah di fasilitas kesehatan (Nella et al., 2022; , Nella et al., 2022).[19][20]. Pemilihan metode statistik ini didasarkan pada kebutuhan untuk memahami interaksi kompleks antara variabel yang terlibat dalam pengelolaan limbah dan dampaknya terhadap keberlanjutan lingkungan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, literatur yang berkaitan dengan pengelolaan limbah dan dampak lingkungan pada pabrik kimia dan rumah sakit telah diidentifikasi dan dikelompokkan berdasarkan tema. Tema utama yang muncul dari literatur mencakup karakteristik limbah, metode pengelolaan, dampak lingkungan, serta kebijakan dan regulasi yang mengatur pengelolaan limbah. Penelitian ini mengungkapkan tren utama, kesenjangan, dan perdebatan dalam penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik ini.

### Tren Utama Dalam Pengelolaan Limbah

Salah satu tren utama yang teridentifikasi adalah peningkatan kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Kasih Kasih (2023)[21] menunjukkan bahwa instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di rumah sakit perlu dikelola secara menyeluruh untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian lain oleh Nursabrina et al. Nursabrina et al. (2021)[22] menekankan bahwa pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di industri sangat penting untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan. Selain itu, Ginting Ginting (2023)[23] menunjukkan bahwa penerapan metode green engineering dalam pengolahan limbah dapat menghasilkan produk bernilai guna, seperti pupuk organik cair, yang menunjukkan potensi untuk mengubah limbah menjadi sumber daya.

### Kesenjangan Dalam Penelitian

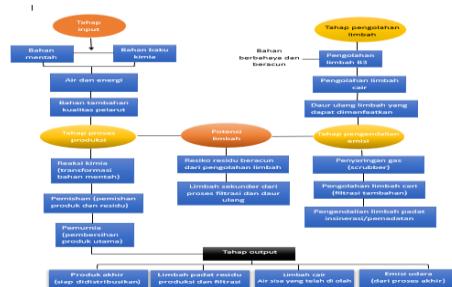
Meskipun ada kemajuan dalam pengelolaan limbah, terdapat kesenjangan dalam penelitian yang berkaitan dengan implementasi kebijakan dan regulasi. Misalnya, penelitian oleh Adzka Adzka (2024)[16] menunjukkan bahwa pengelolaan limbah medis di rumah sakit masih belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh WHO, dengan banyak limbah yang dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi efektivitas kebijakan yang ada dan untuk mengembangkan strategi yang lebih baik dalam pengelolaan limbah. Selain itu, penelitian oleh Hendriana Hendriana (2023)[14] mengindikasikan bahwa banyak industri belum melakukan penilaian risiko terhadap limbah B3, yang dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang serius.

### Perdebatan Dalam Penelitian

Perdebatan dalam penelitian ini sering kali berfokus pada metode pengelolaan limbah yang paling efektif. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Wibowo et al. (Wibowo et al., 2019)[24], menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah sebagai sumber energi alternatif, seperti biogas, dapat menjadi solusi yang berkelanjutan. Namun, ada juga pandangan yang menekankan perlunya pendekatan yang lebih holistik dalam pengelolaan limbah, termasuk pengurangan timbulan limbah di sumbernya. Penelitian oleh Riyanto Riyanto (2023)[25], menunjukkan bahwa fitoremediasi dapat menjadi metode yang efektif untuk menurunkan kadar polutan dalam air limbah, tetapi implementasinya memerlukan dukungan dari berbagai pemangku kepentingan.

### Analisis Temuan Penting

Dalam penelitian ini, analisis informasi utama mengenai karakteristik limbah dari pabrik kimia dan rumah sakit telah dilakukan dengan mengkaji berbagai literatur yang relevan. Beberapa tema utama yang muncul dari analisis ini mencakup jenis limbah yang dihasilkan, metode pengelolaan yang diterapkan, serta dampak lingkungan yang ditimbulkan. Berikut adalah sintesis dari temuan yang diperoleh, termasuk persamaan, perbedaan, dan kontribusi khusus dari setiap penelitian yang dikaji.



Gambar 1. Ipo Pabrik Kimia

### Diagram Alir Pengelolaan Limbah di Pabrik Kimia Menggunakan Pendekatan Input-Proses-Output (IPO)

Pengelolaan limbah di pabrik kimia tidak hanya berfokus pada proses produksi, tetapi juga pada dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah yang dihasilkan. Limbah yang dihasilkan dari proses industri dapat memiliki konsekuensi serius bagi ekosistem dan kesehatan manusia jika tidak dikelola dengan baik. Dalam konteks ini, pendekatan Input-Proses-Output (IPO) menjadi penting untuk memahami dan mengurangi dampak negatif dari limbah yang dihasilkan.

Pada tahap Input, bahan baku kimia yang tidak murni dapat menyebabkan kontaminasi yang berpotensi menghasilkan limbah berbahaya. Tumpahan bahan kimia dan energi yang terbuang akibat kebocoran dapat mencemari tanah dan air, yang berdampak pada kualitas lingkungan [26]. Penelitian menunjukkan bahwa limbah cair yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari badan air, mengganggu ekosistem akuatik, dan membahayakan kehidupan organisme di sekitarnya [27]. Misalnya, industri batik yang tidak memiliki instalasi pengolahan limbah seringkali membuang limbah cair langsung ke sungai, yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan dampak negatif pada kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber air tersebut [27].

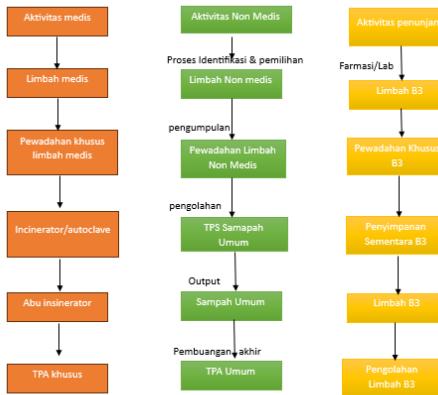
Selanjutnya, pada tahap Proses Produksi, emisi gas berbahaya seperti karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan nitrogen oksida ( $NO_x$ ) dapat berkontribusi terhadap perubahan iklim dan polusi udara. Limbah cair yang dihasilkan dari proses ini, jika tidak dikelola dengan baik, dapat mengandung zat berbahaya yang dapat mencemari tanah dan air, serta berdampak pada kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya [28]. Misalnya, air limbah dari laboratorium yang mengandung bahan kimia berbahaya dapat mencemari lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan yang tepat, menyebabkan risiko bagi kesehatan masyarakat dan ekosistem [28].

Setelah tahap produksi, limbah yang dihasilkan memasuki tahap Pengelolaan Limbah. Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) memerlukan pengolahan khusus untuk mengurangi dampak negatifnya. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah ini dapat mencemari tanah dan air, serta mengganggu kesehatan manusia dan hewan [22]. Penelitian menunjukkan bahwa limbah B3 industri merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan yang signifikan, dan pengelolaan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan jangka panjang pada ekosistem [22]. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan teknologi pengolahan yang efektif dan melibatkan tenaga ahli yang kompeten dalam proses ini.

Tahap Pengendalian Emisi juga memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan. Sistem seperti scrubber digunakan untuk menyaring gas berbahaya sebelum dilepaskan ke atmosfer, tetapi proses ini masih dapat menghasilkan emisi gas sisa yang memerlukan penanganan lebih lanjut [26]. Selain itu, limbah padat yang dihasilkan dari proses ini juga perlu dikelola dengan baik untuk mengurangi risiko pencemaran [21]. Jika tidak, limbah padat dapat mencemari tanah dan air, serta mengganggu kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Pada tahap Output, produk akhir yang dihasilkan harus memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Namun, jika pengelolaan pada tahap sebelumnya tidak efektif, limbah yang dihasilkan dapat mencemari lingkungan, mengganggu ekosistem, dan membahayakan kesehatan manusia [21]. Misalnya, limbah cair yang telah melalui proses pengolahan tetapi masih mengandung polutan dapat mencemari sumber air, yang berdampak pada kehidupan akuatik dan kesehatan masyarakat [28]. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa semua limbah yang dihasilkan, baik padat maupun cair, dikelola dengan baik untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Secara keseluruhan, pengelolaan limbah di pabrik kimia dengan pendekatan IPO memerlukan perhatian yang serius terhadap dampak lingkungan dari setiap tahap. Identifikasi potensi limbah dan penerapan teknologi ramah lingkungan sangat penting untuk mengurangi risiko pencemaran dan memastikan keberlanjutan operasional. Dengan pengelolaan yang baik, limbah yang dihasilkan dapat diproses menjadi produk yang bermanfaat, seperti kompos atau energi terbarukan, yang dapat memberikan manfaat bagi lingkungan dan masyarakat [29]. Oleh karena itu, penting bagi industri untuk berkomitmen pada praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.



Gambar 2. IPO Rumah Sakit

### Penjelasan IPO Rumah Sakit

Pengelolaan limbah rumah sakit merupakan aspek penting dalam menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan. Setiap aktivitas di rumah sakit menghasilkan jenis limbah yang berbeda, yang memiliki dampak lingkungan yang signifikan jika tidak dikelola dengan baik. Berikut adalah penjelasan detail mengenai setiap tahapan aktivitas dan proses pengelolaan limbah rumah sakit, serta dampak limbah yang dihasilkan terhadap lingkungan.

#### Aktivitas Medis

Aktivitas medis di rumah sakit, seperti pelayanan rawat inap, rawat jalan, ruang operasi, IGD, dan perawatan intensif, menghasilkan limbah infeksius yang berpotensi menularkan penyakit. Limbah ini meliputi perban bekas, jarum suntik, ampul, botol infus, kantong darah, jaringan tubuh, dan limbah farmasi. Penanganan limbah infeksius memerlukan prosedur khusus, termasuk pewadahan menggunakan kantong kuning berlabel biohazard dan kontainer khusus untuk benda tajam [30]. Jika limbah ini tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, meningkatkan risiko infeksi nosokomial, dan membahayakan kesehatan masyarakat [22]. Limbah infeksius yang terbuang sembarangan dapat mencemari tanah dan air, serta mengganggu ekosistem lokal [22].

#### Aktivitas Non-Medis

Aktivitas non-medis, seperti administrasi, dapur, laundry, dan kebersihan, menghasilkan limbah seperti kertas, plastik, sisa makanan, dan sampah domestik lainnya. Limbah ini dikelola dengan pemilahan dan pewadahan menggunakan kantong hitam, yang kemudian dikumpulkan di tempat penampungan sementara (TPS) sebelum diangkut ke tempat pembuangan akhir (TPA) (Amin, 2021). Meskipun tidak seberbahaya limbah medis, limbah non-medis yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan, menyebabkan penumpukan sampah, dan berkontribusi terhadap pencemaran tanah dan air. Sisa makanan yang dibuang dapat menarik hama dan menyebabkan masalah kesehatan lainnya [32].

#### Aktivitas Penunjang

Aktivitas penunjang, termasuk layanan laboratorium, radiologi, farmasi, dan sterilisasi, menghasilkan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) seperti bahan kimia kedaluwarsa, reagent bekas, film rontgen, dan pelarut. Limbah B3 memerlukan penanganan khusus dan disimpan di tempat penyimpanan sementara sebelum diserahkan kepada pengolah berizin [14]. Jika limbah B3 tidak dikelola dengan baik, dapat mencemari tanah dan air, serta menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat sekitar [22]. Pengelolaan yang tidak tepat dapat menyebabkan paparan bahan berbahaya yang dapat mengakibatkan penyakit serius, termasuk kanker [33].

#### Proses Pengolahan Limbah

Proses pengolahan limbah medis dilakukan menggunakan insinerator atau autoclave untuk memusnahkan komponen berbahaya. Abu hasil pembakaran kemudian dikirim ke TPA khusus [34]. Limbah non-medis dikelola seperti sampah domestik pada umumnya, sedangkan limbah B3 harus diolah oleh pihak ketiga yang memiliki izin pengolahan limbah B3 [35]. Penggunaan insinerator yang tidak sesuai spesifikasi dapat menghasilkan emisi berbahaya yang mencemari udara, sehingga penting untuk memastikan bahwa fasilitas pengolahan limbah memenuhi standar yang ditetapkan [36].

## **Pengawasan dan Dampak Lingkungan**

Pengawasan ketat diperlukan pada setiap tahapan untuk mencegah dampak negatif seperti pencemaran lingkungan, risiko infeksi nosokomial, dan paparan limbah B3. Petugas yang menangani limbah harus menggunakan alat pelindung diri (APD) lengkap dan mengikuti prosedur operasional standar (SOP) yang telah ditetapkan [37]. Keterbatasan dalam pengelolaan limbah medis dapat menyebabkan penumpukan limbah, yang berpotensi mencemari lingkungan dan mengancam kesehatan masyarakat [38]. Oleh karena itu, penting untuk meningkatkan kesadaran dan pengetahuan tenaga kesehatan mengenai pengelolaan limbah medis yang baik dan benar.

Secara keseluruhan, pengelolaan limbah rumah sakit memerlukan pendekatan yang sistematis dan terintegrasi untuk memastikan bahwa semua jenis limbah dikelola dengan baik. Dengan penerapan prosedur yang tepat dan pengawasan yang ketat, dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat dapat diminimalkan. Limbah yang berhasil diproses dengan baik dapat mengurangi pencemaran dan memberikan manfaat bagi lingkungan, seperti penggunaan kembali bahan baku yang dihasilkan dari limbah yang diolah [39]. Oleh karena itu, penting bagi industri kesehatan untuk berkomitmen pada praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## **Analisis Informasi Utama pada Tema Karakteristik Limbah**

Dalam kajian literatur mengenai karakteristik limbah dari pabrik kimia dan rumah sakit, beberapa informasi utama ditemukan yang menunjukkan persamaan, perbedaan, dan kontribusi khusus dari setiap penelitian yang dikaji.

### **Karakteristik Limbah di Pabrik Kimia**

Limbah yang dihasilkan oleh pabrik kimia memiliki karakteristik yang beragam, tergantung pada jenis bahan baku dan proses produksi yang digunakan. Menurut Sholihah et al. [40], limbah dari pabrik kimia sering kali mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan penanganan khusus. Penelitian oleh Phitamara [41], menunjukkan bahwa limbah cair dari pabrik kimia dapat mengandung senyawa toksik yang sulit diolah dengan metode konvensional. Hal ini menunjukkan perlunya teknologi pengolahan yang lebih canggih untuk mengurangi dampak lingkungan.

### **Karakteristik Limbah di Rumah Sakit**

Limbah medis di rumah sakit, seperti yang dijelaskan oleh Bunga dan Damanhuri [42], terdiri dari limbah infeksius, limbah B3, dan limbah non-medis. Karakteristik limbah ini sangat dipengaruhi oleh jumlah pasien dan jenis perawatan yang diberikan. Penelitian oleh Anwar dan Rochka Anwar & Rochka (2022) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah pasien COVID-19 menyebabkan peningkatan signifikan dalam timbulan limbah medis, sehingga memerlukan sistem manajemen yang lebih baik [43]. Selain itu, penelitian oleh Valonda dan Hermawati menekankan pentingnya pemisahan limbah medis dari limbah non-medis untuk mencegah pencemaran dan risiko kesehatan [44].

### **Persamaan**

Baik pabrik kimia maupun rumah sakit menghasilkan limbah yang memerlukan pengelolaan yang hati-hati untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Keduanya menghadapi tantangan dalam hal pemisahan dan pengolahan limbah, serta perlunya teknologi yang tepat untuk mengelola limbah berbahaya. Penelitian oleh Kasih Kasih [21] menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang baik dapat mengurangi risiko pencemaran dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan.

### **Perbedaan**

Perbedaan utama antara limbah pabrik kimia dan limbah rumah sakit terletak pada jenis dan karakteristiknya. Limbah pabrik kimia lebih beragam dan sering kali mengandung bahan kimia berbahaya, sedangkan limbah rumah sakit lebih terfokus pada limbah medis yang berpotensi infeksius. Penelitian oleh Rizaldi et al. [45] menunjukkan bahwa pengelolaan limbah medis di rumah sakit memerlukan perhatian khusus terhadap keselamatan petugas kebersihan, yang tidak menjadi fokus utama dalam pengelolaan limbah pabrik kimia.

### **Kontribusi Khusus**

Setiap penelitian yang dikaji memberikan kontribusi khusus terhadap pemahaman pengelolaan limbah. Misalnya, penelitian oleh Amelia et al. Amelia et al [46] menyoroti pentingnya pelatihan bagi petugas dalam pengelolaan limbah medis, sementara penelitian oleh

Fahira dan Slamet [47] mengevaluasi kinerja instalasi pengolahan air limbah di rumah sakit. Kontribusi ini menunjukkan bahwa pendekatan yang berbeda diperlukan untuk mengatasi tantangan yang dihadapi dalam pengelolaan limbah di masing-masing sektor.

### Sintesis

Dalam kajian literatur mengenai pengelolaan limbah di pabrik kimia dan rumah sakit, sejumlah tema baru telah muncul yang memberikan gambaran menyeluruh tentang tantangan dan solusi dalam pengelolaan limbah. Temuan ini mencakup aspek-aspek seperti dampak lingkungan dari limbah, implementasi kebijakan keselamatan, dan penerapan teknologi ramah lingkungan. Berikut adalah sintesis dari beberapa sumber yang relevan.

#### 1. Dampak Lingkungan dari Limbah

Penelitian oleh Maulana et al. Maulana et al. (2020) menunjukkan bahwa kontaminan biologis yang dihasilkan dari limbah rumah sakit dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat dan lingkungan [48]. Hal ini sejalan dengan temuan oleh Oca (Oca, 2023), yang menekankan pentingnya pengelolaan biaya lingkungan untuk mengurangi dampak negatif dari limbah medis [49]. Dalam konteks pabrik kimia, Hendriana Hendriana (2023) mengidentifikasi bahwa limbah B3 yang dihasilkan dapat menimbulkan risiko lingkungan yang signifikan jika tidak dikelola dengan baik. Keduanya menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang efektif sangat penting untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan [50].

#### 2. Implementasi Kebijakan Keselamatan

Galleryzki et al. [51] menyoroti pentingnya sikap keselamatan dalam implementasi sasaran keselamatan pasien di rumah sakit. Penelitian ini menunjukkan bahwa manajemen yang baik dan pelatihan yang tepat dapat mengurangi insiden keselamatan, yang juga relevan dalam konteks pengelolaan limbah. Di sisi lain, Effendi [52] menekankan perlunya rumah sakit untuk beroperasi sebagai "green hospital" dengan mengelola limbah secara ramah lingkungan. Keduanya menunjukkan bahwa kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) harus diintegrasikan dalam pengelolaan limbah untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan di lingkungan rumah sakit.

#### 3. Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah dapat memberikan manfaat signifikan. Misalnya, penelitian oleh Robby [53] mengungkapkan bahwa sistem pengangkutan dan pengumpulan limbah B3 yang efisien dapat mengurangi risiko pencemaran. Selain itu, penelitian oleh Rozzi [54] menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas udara berbasis teknologi dapat membantu menjaga sanitasi rumah sakit. Ini menunjukkan bahwa teknologi dapat menjadi alat yang efektif dalam meningkatkan pengelolaan limbah dan kesehatan lingkungan.

#### 4. Keterkaitan antara Pengelolaan Limbah dan Kualitas Pelayanan

Penelitian oleh Mulyatna et al. [55] menyoroti bahwa kebisingan di rumah sakit dapat mempengaruhi kenyamanan pasien, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kualitas pelayanan. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan limbah dan lingkungan fisik rumah sakit saling terkait dan harus dikelola secara holistik. Selain itu, Nursabrina et al. [22] menekankan bahwa pengelolaan limbah B3 industri harus mempertimbangkan dampak terhadap kesehatan masyarakat, yang menunjukkan bahwa pengelolaan limbah tidak hanya berdampak pada lingkungan tetapi juga pada kualitas pelayanan kesehatan.

Secara keseluruhan, temuan dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan limbah di pabrik kimia dan rumah sakit adalah isu yang kompleks dan multidimensional. Dampak lingkungan dari limbah, implementasi kebijakan keselamatan, penerapan teknologi ramah lingkungan, dan keterkaitan antara pengelolaan limbah dan kualitas pelayanan merupakan tema-tema baru yang perlu diperhatikan. Dengan memahami hubungan ini, pemangku kepentingan dapat merumuskan strategi yang lebih efektif untuk mengelola limbah dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan di kedua sektor ini.

### SIMPULAN

Hasil kajian literatur mengenai pengelolaan limbah dan dampak lingkungan pada pabrik kimia dan rumah sakit menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang efektif adalah kunci untuk mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Penelitian ini menjawab pertanyaan penelitian tentang bagaimana hubungan antara produk, proses, dan

limbah dalam konteks kedua sektor tersebut, serta bagaimana pendekatan input-proses-output (IPO) dapat diterapkan untuk meningkatkan pengelolaan limbah.

#### **Kontribusi Utama dari Kajian Literatur**

1. Dampak Lingkungan: Kajian ini mengungkapkan bahwa limbah dari pabrik kimia dan rumah sakit memiliki karakteristik yang berbeda, dengan limbah B3 dari pabrik kimia yang lebih beragam dan berpotensi lebih berbahaya dibandingkan dengan limbah medis dari rumah sakit. Penelitian oleh Nursabrina et al.[22] dan Valonda & Hermawati menekankan pentingnya pengelolaan limbah yang sesuai dengan regulasi untuk meminimalkan dampak lingkungan [44].
2. Kebijakan dan Praktik Terbaik: Penelitian menunjukkan bahwa implementasi kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang baik di rumah sakit dapat meningkatkan pengelolaan limbah medis. Penelitian oleh Galleryzki et al. menunjukkan hubungan positif antara sikap keselamatan dan implementasi keselamatan pasien, yang juga berimplikasi pada pengelolaan limbah [51].
3. Inovasi Teknologi: Penerapan teknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah, seperti sistem monitoring kualitas udara berbasis real-time yang dibahas oleh Rozzi [54], menunjukkan bahwa teknologi dapat membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan limbah di rumah sakit.
4. Ekoefisiensi dan Green Hospital: Penelitian oleh Effendi Effendi (2024) dan Sunarto Sunarto menunjukkan bahwa penerapan prinsip ekoefisiensi dalam manajemen rumah sakit dapat membantu menciptakan rumah sakit ramah lingkungan (green hospital), yang tidak hanya mengurangi limbah tetapi juga meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan[52].

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Magrini, C., D'Addato, F., & Bonoli, A. (2020). Municipal solid waste prevention: a review of market-based instruments in six european union countries. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*, 38(1\_suppl), 3-22. <https://doi.org/10.1177/0734242x19894622>
- Acharya, A., Bastola, G., Modi, B., Marhatta, A., Belbase, S., Lamichhane, G., ... & Dahal, R. (2021). The impact of covid-19 outbreak and perceptions of people towards household waste management chain in nepal. *Geoenvironmental Disasters*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00188-w>
- Teshome, Z., Ayele, Z., & Abib, M. (2022). Assessment of solid waste management practices in kebridehar city somali regional state, ethiopia. *Heliyon*, 8(9), e10451. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10451>
- Fischer, D., Seidu, F., Yang, J., Felten, M., Garus, C., Kraus, T., ... & Kaifie, A. (2020). Health consequences for e-waste workers and bystanders—a comparative cross-sectional study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1534. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051534>
- Godfrey, L., Ahmed, M., Gebremedhin, K., Katima, J., Oelofse, S., Osibanjo, O., ... & Yonli, A. (2020). Solid waste management in africa: governance failure or development opportunity?.. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86974>
- Kolodiichuk, I., Dubnevych, Y., Kolodiichuk, V., & Dmytriv, V. (2021). Prospects for the balanced development of the waste management system in ukraine. *Global Business Review*. <https://doi.org/10.1177/09721509211034747>
- Riali, M. (2020). Pengelolaan sampah kota berdasarkan konsep zero waste. *Pondasi*, 25(1), 63. <https://doi.org/10.30659/pondasi.v25i1.13037>
- Maphosa, V. and Maphosa, M. (2020). E-waste management in sub-saharan africa: a systematic literature review. *Cogent Business & Management*, 7(1), 1814503. <https://doi.org/10.1080/23311975.2020.1814503>
- Wassan, A., Memon, M., Mari, S., & Kalwar, M. (2023). Identifying the critical success practices of sustainability and their implementation in the manufacturing sector of pakistan: an exploratory factor analysis. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*, 4(1), 37-53. <https://doi.org/10.4995/jarte.2023.18623>

- Naeeni, S. (2024). Understanding compliance with environmental regulations in the manufacturing sector. *ISSLP*, 3(1), 31-37. <https://doi.org/10.61838/kman.isslp.3.1.6>
- Hasiana, D., Safira, T., & Fathun, L. (2021). Limbah medis pada covid – 19 di indonesia: faktor kompleksitas dan upaya reformasi. *Jurnal Sentris*, 2(2), 152-165. <https://doi.org/10.26593/sentris.v2i2.4999.152-165>
- Absori, A. and Latif, M. (2020). Kebijakan hukum dalam pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (b3): studi implementasi pengelolaan limbah medis di rumah sakit salatiga. *Jil Journal of Indonesian Law*, 1(1), 91-117. <https://doi.org/10.18326/jil.v1i1.91-117>
- Anggarini, N. (2023). Evaluasi pengelolaan limbah di pusat riset teknologi aplikasi isotop dan radiasi.. <https://doi.org/10.55981/brin.690.c660>
- Harninda, R. (2023). Literatur review: pengelolaan limbah medis pada negara maju dan negara berkembang serta dampak lingkungannya. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3). <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6273>
- Normawati, N., Miswan, M., & Andri, M. (2021). Analisis sistem pengelolaan limbah padat bahan berbahaya dan beracun di rumah sakit umum tadulako. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 4(12), 676-680. <https://doi.org/10.56338/jks.v4i12.2070>
- Adzkia, E. (2024). Gambaran pengelolaan limbah medis bahan berbahaya dan beracun di kesehatan lingkungan rsi ibnu sina padangpanjang tahun 2023. *MJPM*, 2(1), 572-580. <https://doi.org/10.60126/maras.v2i1.205>
- Trisnawati, A. and Suwandana, E. (2021). Evaluasi pengelolaan limbah padat rumah sakit rujukan covid-19 di provinsi nusa tenggara barat. *Sulolipu Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 21(1), 14. <https://doi.org/10.32382/sulolipu.v21i1.2097>
- Dani, A. (2023). Faktor-faktor yang berhubungan dengan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (b3) di pt suri tani pemuka kabupaten cirebon. *Jurnal Kesehatan*, 14(2), 117-125. <https://doi.org/10.38165/jk.v14i2.388>
- Nella, R., Febria, F., & Mahdi, M. (2022). Analisis pengelolaan limbah medis padat pada fasilitas kesehatan tingkat pertama kota padang. *Ji-Kes (Jurnal Ilmu Kesehatan)*, 5(2), 210-220. <https://doi.org/10.33006/ji-kes.v5i2.344>
- Nella, R., Febria, F., & Mahdi, M. (2022). Evaluasi dan analisis pengelolaan limbah medis padat pada fasilitas kesehatan tingkat pertama kota padang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 19(1), 67-76. <https://doi.org/10.31964/jkl.v19i1.444>
- Kasih, B. (2023). Analisis evaluasi kinerja dan proses instalasi pengolahan air limbah (ipal) rumah sakit. *Environmental Engineering Journal Itats*, 3(2), 124-133. <https://doi.org/10.31284/j.envitats.2023.v3i2.4532>
- 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>
- Ginting, J. (2023). Pemanfaatan limbah tahu dengan metode green engineering pada pabrik tahu putri deli, deli tua. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 7(2), 276-284. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i2.10623>
- Wibowo, A., Ali, U., Hidayat, A., & Purnomo, R. (2019). Pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit (pks) sebagai energi alternatif biogas melalui sistem biodigester. *Agroteknika*, 2(2), 95-99. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v2i2.42>
- Adzkia, E. (2024). Gambaran pengelolaan limbah medis bahan berbahaya dan beracun di kesehatan lingkungan rsi ibnu sina padangpanjang tahun 2023. *MJPM*, 2(1), 572-580. <https://doi.org/10.60126/maras.v2i1.205>
- A. (2023). Fitoremediasi kayu apu, eceng gondok, dan bambu air untuk menurunkan kadar bod air limbah pabrik tahu. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 12(02), 162-170. <https://doi.org/10.33221/jikm.v12i02.2360>
- Barbosa, F., Mol, M., & Barros, R. (2020). Minimizing laboratory waste and improving material reuse through chemical waste exchange: case of a brazilian institution. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*, 38(9), 1064-1072. <https://doi.org/10.1177/0734242x20938459>

- Fendriani, Y., Nurhidayah, \_, & Handayani, L. (2020). Pengaruh variasi jarak elektroda dan waktu terhadap ph dan tds limbah cair batik menggunakan metode elektrokoagulasi. *Journal Online of Physics*, 5(2), 59-64. <https://doi.org/10.22437/jop.v5i2.9869>
- Wijayanti, M. (2023). Pengolahan air limbah laboratorium menggunakan aops secara terintegrasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 142-149. <https://doi.org/10.14710/jil.22.1.142-149>
- Nasution, H. (2024). Aplikasi pemberian kompos tandan kelapa sawit untuk perbaikan beberapa sifat kimia tanah beskas tambang batu bara pada tanaman jambon dan tanaman sengon. *Multidiciplinary Scientifict Journal*, 2(4), 212-221. <https://doi.org/10.57185/mutiara.v2i4.178>
- Adzkia, E. (2024). Gambaran pengelolaan limbah medis bahan berbahaya dan beracun di kesehatan lingkungan rsi ibnu sina padangpanjang tahun 2023. *MJPM*, 2(1), 572-580. <https://doi.org/10.60126/maras.v2i1.205>