

INOVASI, TANTANGAN, DAN *SUSTAINABLE PRACTICE* DALAM REKAYASA LIMBAH INDUSTRI DI ERA *SOCIETY 5.0*

Dadan Rachmat¹, Devi Susiati²

¹) PT. Maxima Energi Indokemika, Surabaya

²) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 45 Surabaya
email: devisusiati@univ45sby.ac.id

Abstrak

Pengelolaan limbah industri telah menjadi perhatian utama di era *Society 5.0*, dimana integrasi teknologi ke dalam masyarakat memerlukan evaluasi ulang terhadap praktik rekayasa limbah. Artikel yang komprehensif ini mengeksplorasi bidang rekayasa limbah industri yang terus berkembang, mengkaji teknologi inovatif, tantangan, dan praktik berkelanjutan yang menentukan titik temu antara industri dan masyarakat di dalam *Society 5.0*. Limbah atau sampah telah menjadi masalah bagi manusia sejak jaman nenek moyang kita. Seiring bertambahnya populasi manusia, jumlah sampah yang dihasilkan juga meningkat. Selama Abad Pertengahan, penyakit seperti kolera dan demam tifoid merebak di seluruh Eropa, yang merupakan akibat langsung dari kondisi tidak sehat yang disebabkan oleh kotoran manusia, hewan, dan sampah. Salah satu peraturan paling awal mengenai pengelolaan sampah sudah ada sejak sekitar 500 SM di kota Athena, Yunani, dimana penduduknya dilarang membuang sampah di jalan. Pada abad ke-19, "Era Sanitasi" dimulai, dan sebuah laporan di Inggris mengaitkan penyakit dengan kondisi lingkungan, yang mengarah pada pengembangan peraturan dan perbaikan praktik pengelolaan sampah. Abad ke-20 mulai muncul unit pengolahan limbah sebagai solusi terhadap meningkatnya masalah limbah industri.

Kata kunci: Limbah, Teknologi, *Society 5.0*

Abstract

Industrial waste management has become a major concern in the *Society 5.0* era, where the integration of technology into society requires a re-evaluation of waste engineering practices. This comprehensive article explores the growing field of industrial waste engineering, examining the innovative technologies, challenges, and sustainable practices that define the intersection between industry and society within *Society 5.0*. Waste or rubbish has been a problem for humans since the time of our ancestors. As the human population increases, the amount of waste produced also increases. During the Middle Ages, diseases such as cholera and typhoid fever broke out across Europe, which was a direct result of unsanitary conditions caused by human waste, animals and garbage. One of the earliest regulations regarding waste management dates back to around 500 BC in the city of Athens, Greece, where residents were prohibited from throwing rubbish on the street. In the 19th century, the "Sanitary Era" began, and a report in England linked disease to environmental conditions, leading to the development of regulations and improved waste management practices. In the 20th century, waste processing units began to emerge as a solution to the increasing problem of industrial waste.

Keywords: Waste, Technology, *Society 5.0*

PENDAHULUAN

Evolusi yang pesat di bidang teknologi serta integrasinya ke berbagai aspek kehidupan masyarakat telah melahirkan *Society 5.0*, sebuah paradigma yang menekankan pada usaha untuk hidup berdampingan secara harmonis antara manusia dan teknologi. Di era ini, rekayasa limbah industri merupakan bidang penting yang memerlukan pendekatan inovatif untuk mengatasi permasalahan lingkungan, konservasi sumber daya, dan kesejahteraan masyarakat. Artikel ini bertujuan untuk memberikan analisis menyeluruh mengenai rekayasa limbah industri dalam konteks *Society 5.0*, mencakup perspektif sejarah, kemajuan teknologi, tantangan, dan solusi berkelanjutan.

Limbah atau sampah telah menjadi masalah bagi manusia sejak jaman nenek moyang kita. Seiring bertambahnya populasi manusia, jumlah sampah yang dihasilkan juga meningkat. Selama Abad Pertengahan, penyakit seperti kolera dan demam tifoid merebak di seluruh Eropa, yang merupakan akibat langsung dari kondisi tidak sehat yang disebabkan oleh kotoran manusia, hewan, dan sampah. Salah satu peraturan paling awal mengenai pengelolaan sampah sudah ada sejak sekitar 500 SM di

kota Athena, Yunani, dimana penduduknya dilarang membuang sampah di jalan. Pada abad ke-19, "Era Sanitasi" dimulai, dan sebuah laporan di Inggris mengaitkan penyakit dengan kondisi lingkungan, yang mengarah pada pengembangan peraturan dan perbaikan praktik pengelolaan sampah. Abad ke-20 mulai muncul unit pengolahan limbah sebagai solusi terhadap meningkatnya masalah limbah industri.

Sejarah awal limbah industri dapat ditelusuri ke masa awal Revolusi Industri ketika skala produksi industri meningkat secara signifikan. Hal ini menyebabkan terbentuknya bahan limbah dalam jumlah besar, termasuk abu, besi tua, bahan kimia, dan produk sampingan lainnya dari proses industri. Kurangnya pengelolaan limbah yang tepat menyebabkan meluasnya pencemaran lingkungan dan masalah kesehatan masyarakat.

Pada tahun 1800-an, masyarakat mulai memahami bahwa kondisi kehidupan yang tidak sehat dan kontaminasi air berkontribusi terhadap epidemi penyakit. Kesadaran baru ini mendorong kota-kota besar untuk mengambil tindakan untuk mengendalikan limbah dan sampah. Pada pertengahan tahun 1850-an, Chicago membangun sistem pembuangan limbah besar pertama di Amerika Serikat untuk mengolah air limbah. Tak lama kemudian, banyak kota di AS lainnya mengikuti jejak Chicago. Kondisi sanitasi yang lebih baik dan berkurangnya penyakit merupakan faktor penting dalam menjadikan kota sebagai tempat tinggal yang lebih sehat, dan membantu mendorong masyarakat untuk pindah ke daerah perkotaan. Ketika kota-kota menjadi lebih padat penduduknya menjelang akhir abad ke-19, kota-kota industri di seluruh Eropa dan Amerika Serikat mengalami polusi jenis baru: limbah dari industri dan pabrik (Andy Rihn, 2021).

Limbah industri telah menjadi produk samping dari aktivitas industri selama berabad-abad. Selama manusia terlibat dalam manufaktur, pertambangan, dan proses industri lainnya, limbah terus dihasilkan. Sayangnya, limbah industri secara historis mendapat prioritas lebih rendah dari komunitas pengelola kesehatan masyarakat dibandingkan limbah manusia. Seiring dengan perkembangan industri yang terus meningkat pesat, limbah industri terus menjadi masalah lingkungan dan kesehatan masyarakat yang signifikan, dan upaya untuk mengelola dan mengurangi limbah industri terus dilakukan.

METODE

Perancangan pada penelitian ini tentang limbah industri di era society 5.0 menggunakan metode kualitatif dimana terdapat analisis dampak, inovasi teknologi, dan tantangan rekayasa limbah industri. Serta menganalisis tentang kontaminan yang terus meningkat. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukannya pendekatan secara berkelanjutan terhadap pengelolaan limbah industri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuangan limbah yang tidak diatur mempunyai dampak lingkungan yang signifikan. Pembuangan limbah yang tidak tepat dapat menyebabkan pencemaran udara, air, dan tanah, yang dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia dan lingkungan. Pencemaran tanah terjadi ketika sampah berakhir di tanah atau lahan lain yang seharusnya diolah oleh manusia, dan isinya terurai, merembes ke wilayah sekitarnya dan membahayakan manusia dan hewan. Pencemaran air terjadi ketika sampah masuk ke laut atau badan air lainnya, terurai ke laut dan secara perlahan mencemari air. Polusi udara adalah masalah besar lainnya di seluruh dunia, dan pembuangan limbah yang tidak tepat berkontribusi terhadap gas berlebih yang masuk ke atmosfer, sehingga menyebabkan perubahan iklim global. Sampah yang tidak diolah juga merupakan tempat berkembangnya berbagai penyakit yang dapat menyerang hewan, tumbuhan, dan manusia (Siddiqua et al., 2022).

Tempat pembuangan sampah ilegal dan tidak terkendali, atau dikenal sebagai tempat pembuangan sampah terbuka, banyak terjadi di banyak negara berkembang, menyebabkan pencemaran air tanah karena pencucian bahan organik, anorganik, dan berbagai zat lain yang terkandung dalam sampah. Selain itu juga menyebabkan pencemaran udara berupa polusi bau dan bahkan polusi laut dari potensi limpasan air. Dampak negatif lanjutan dari kondisi ini antara lain degradasi lahan, emisi metana dan air lindi yang berbahaya, serta perubahan iklim, yang menimbulkan masalah besar terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat (Abubakar et al., 2022). Secara keseluruhan, pembuangan limbah yang tidak diatur mempunyai konsekuensi lingkungan yang signifikan, oleh karena itu sistem pengelolaan limbah yang tepat diperlukan untuk mengurangi dampak-dampak ini demi melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan.

A. Inovasi Teknologi Pengolahan Limbah Industri

Seiring dengan berkembangnya teknologi di berbagai sektor industri dan disertai meningkatnya kesadaran terhadap perlindungan lingkungan, dalam bidang pengolahan limbah industri pun dikembangkan berbagai teknologi mutakhir yang dapat membantu proses penguraian limbah yang lebih efektif dan bersahabat dengan lingkungan. Menurut Sheth et al. (2021) terbagi menjadi beberapa yaitu antara lain :

1. *Biodegradable Packaging*

Pengembangan bahan kemasan biodegradable membantu mengurangi dampak lingkungan dari limbah kemasan, karena bahan-bahan ini lebih mudah terurai di lingkungan.

2. *Waste to Energy Technology*

Teknologi yang digunakan untuk mengubah bahan sampah menjadi energi, mengurangi jumlah sampah yang dikirim ke tempat pembuangan sampah dan menyediakan sumber energi terbarukan.

3. *Smart Bins*

Tempat sampah pintar yang dilengkapi dengan sensor dan teknologi pemadatan digunakan untuk mengoptimalkan pengumpulan sampah dan mengurangi jumlah sampah yang dikirim ke tempat pembuangan sampah.

4. *Robot that Recycle*

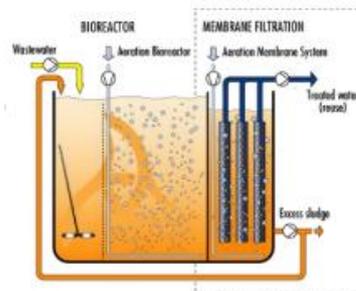
Robotika canggih yang digunakan untuk otomatisasi pemilahan dan daur ulang bahan limbah, sehingga meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses daur ulang.



Gambar 1. *Robot That Recycle*

5. *Membrane Bioreactor (MBR)*

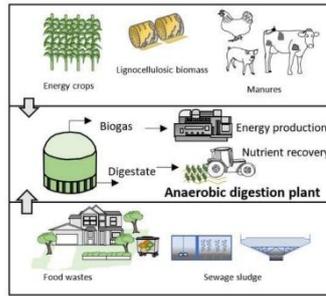
MBR berada di garis depan dalam teknologi pengolahan air limbah, menyediakan penyaringan dan pengolahan air limbah industri yang canggih.



Gambar 2. *Membrane Bioreactor (MBR)*

6. *Anaerobic Digestion (AD)*

AD adalah proses biologis yang menguraikan bahan limbah organik, menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan.



Gambar 2. Anaerobic Digestion (AD)

7. *Internet of Things (IoT)*

Sensor IoT digunakan dalam pengolahan air limbah untuk mengumpulkan data, memantau proses, dan mengoptimalkan efisiensi pengolahan.

8. *Advanced Composting Techniques*

Metode pengomposan yang inovatif sedang dikembangkan untuk meningkatkan penguraian bahan sampah organik dan menghasilkan kompos berkualitas tinggi untuk berbagai aplikasi.

9. *Pyrolysis and Gasification*

Metode pengolahan termal ini mengubah bahan limbah menjadi energi, mengurangi volume sampah yang dikirim ke tempat pembuangan sampah dan menyediakan sumber energi terbarukan.

10. *Black Soldier Fly (BSF)*

Budidaya lalat BSF yang memiliki kemampuan mengurai sampah organik sisa makanan/dapur dalam jumlah besar dengan waktu yang singkat. Larva BSF dapat dijadikan sumber protein alami bagi hewan ternak atau ikan.

11. *Advanced Oxidation Processes (AOPs)*

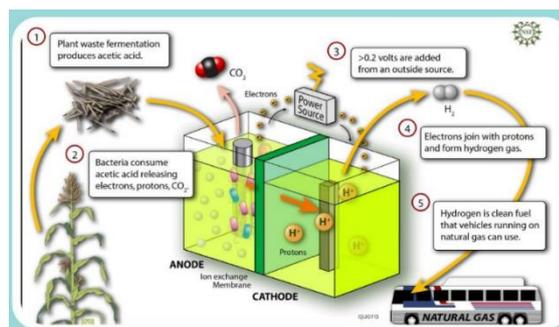
AOPs adalah proses pengolahan kimia tingkat lanjut yang dapat digunakan untuk menghilangkan berbagai kontaminan dari air limbah industri.



Gambar 3. Advanced Oxidation Processes (AOPs)

12. *Microbial Fuel Cells*

Perangkat ini menghasilkan listrik dari penguraian bahan limbah organik oleh mikroorganisme, sehingga menawarkan pendekatan pengolahan air limbah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.



Gambar 4. Microbial Fuel Cells

Teknologi mutakhir ini membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengolahan limbah industri, mengurangi dampak lingkungan dari pembuangan limbah, dan menyediakan sumber daya berharga dari bahan limbah.

B. Tantangan Rekayasa Limbah Industri di *Society 5.0*

Sifat limbah industri yang beragam dan kompleks menghadirkan tantangan yang signifikan dalam pengelolaan limbah. Limbah industri dapat mencakup berbagai bahan dan produk samping yang dihasilkan selama proses manufaktur, seperti abu, kerikil, pasangan bata, beton, besi tua, minyak, pelarut, bahan kimia, kayu bekas, dan bahkan bahan nabati dari restoran. Sifat aliran limbah industri yang heterogen ini menyulitkan penilaian yang akurat dan pengolahan yang efektif, dan pembuangan limbah ini ke tempat pembuangan sampah dapat menyebabkan polusi udara, tanah, dan air, serta kontaminasi air tanah, danau, sungai, sungai, dan perairan pesisir (Industrial Waste, 2023).

Tantangan dalam menangani aliran limbah yang heterogen ini mencakup kebutuhan akan teknologi inovatif dan efisiensi sumber daya untuk mengelola dan mendaur ulang limbah industri secara efektif. Kemajuan signifikan telah dicapai dalam bidang daur ulang limbah industri, dan teknologi inovatif seperti sistem pemilahan yang canggih, pirolisis dan gasifikasi, anaerobic digestion, teknik pengomposan, pemadatan limbah dan efisiensi sumber daya. Namun, kompleksitas aliran limbah industri dan beragamnya material menghadirkan tantangan berkelanjutan dalam pengelolaan limbah.

Kontaminan yang terus meningkat, seperti obat-obatan, mikroplastik, dan polutan kompleks lainnya, menghadirkan tantangan besar dalam pengelolaan limbah industri. Kontaminan ini dapat masuk ke lingkungan melalui berbagai sumber, termasuk air limbah, yang dapat menyebabkan pencemaran air dan kemudian memberikan dampak buruk terhadap kesehatan manusia dan satwa liar (Richardson & Ternes, 2018). Identifikasi dan penanganan polutan baru dan kompleks ini sangat penting untuk memastikan perlindungan lingkungan dan kesehatan manusia (Khan et al., 2022).

C. Pendekatan Berkelanjutan Terhadap Pengelolaan Limbah Industri

Prinsip ekonomi sirkular dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah industri untuk mendorong keberlanjutan dan mengurangi timbulan limbah. Beberapa contoh strategi ekonomi sirkular yang dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah industri antara lain:

13. *Closing the Loop*

Strategi ekonomi sirkular yang bertujuan untuk menutup lingkaran tersebut dengan meminimalkan timbulan sampah, mengalihkan material dari tempat pembuangan sampah dan insinerator, serta mendorong efisiensi dan keberlanjutan sumber daya (Williet, 2020).

14. *Waste Reduction*

Strategi ekonomi sirkular yang mendorong pengurangan timbulan sampah, mengalihkan material dari tempat pembuangan sampah dan insinerator. Hal ini membantu memerangi polusi, mengurangi emisi karbon, dan melindungi ekosistem (*The Circular Economy in Action Engineering a Zero-Waste Future*, 2023).

15. Desain Produk untuk Daya Tahan (*Durability*) dan Daur Ulang (*Recyclability*)

Strategi ekonomi sirkular yang berfokus pada perancangan produk yang tahan lama dan dapat didaur ulang, mengurangi kebutuhan ekstraksi bahan mentah, dan meminimalkan timbulan limbah (*The Circular Economy in Action Engineering a Zero-Waste Future*, 2023).

16. *Reuse, Repair, and Refurbishment*

Strategi ekonomi sirkular yang memprioritaskan penggunaan kembali, perbaikan, dan perbaruan produk dan bahan, sehingga memperpanjang umur produk dan mengurangi timbulan limbah (*The Circular Economy in Action Engineering a Zero-Waste Future*, 2023).

17. Efisiensi Sumber Daya

Strategi ekonomi sirkular yang bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi sumber daya dengan mengoptimalkan siklus bahan total mulai dari bahan asli hingga produk jadi, komponen, produk usang, dan pembuangan akhir, sehingga menciptakan ekosistem di mana limbah merupakan sumber daya yang berharga (Yang et al., 2023).

18. Teknologi Inovatif

Strategi ekonomi sirkular yang memanfaatkan teknologi baru seperti kecerdasan buatan, robotika, dan Internet of Things untuk meningkatkan proses pengelolaan sampah, mengurangi timbulan sampah, dan meningkatkan pendekatan ekonomi sirkular (Williet, 2020).



Gambar 5. *Circular Economy Principle*

Prinsip-prinsip green chemistry dapat diterapkan dalam proses industri untuk mendorong keberlanjutan dan mengurangi timbulan limbah. Green chemistry berfokus pada usaha meminimalkan limbah, mengurangi polusi, dan melestarikan sumber daya, serta mendorong inovasi dengan mendorong upaya penelitian untuk mengembangkan alternatif yang lebih berkelanjutan dibandingkan proses kimia konvensional (Vinod Kumar Garg, 2023).

Proses ramah lingkungan terhadap kegiatan penghasil limbah juga dapat diterapkan dalam pengelolaan limbah industri. Misalnya, teknologi inovatif seperti sistem pemilahan canggih, pirolisis dan gasifikasi, anaerobic digestion, dan teknik pengomposan canggih sedang dikembangkan untuk meningkatkan pengelolaan limbah dan efisiensi sumber daya. Selain itu, strategi ekonomi sirkular dapat diterapkan pada pengelolaan limbah industri untuk mendorong keberlanjutan, mengurangi timbulan limbah, dan berkontribusi terhadap masa depan yang lebih berkelanjutan dan berketahanan (Vinod Kumar Garg, 2023).

Dengan menerapkan prinsip-prinsip kimia ramah lingkungan dan alternatif proses ramah lingkungan terhadap kegiatan yang menghasilkan limbah, pengelolaan limbah industri dapat mendorong keberlanjutan, mengurangi timbulan limbah, dan berkontribusi terhadap masa depan yang lebih berkelanjutan dan berketahanan



Gambar 6. *Green Chemistry*

Teknologi limbah menjadi energi (Waste-to-Energy Technologies) merupakan pendekatan berkelanjutan terhadap pengelolaan limbah industri dengan memanfaatkan energi dari bahan limbah. Menurut Alao et al. (2022) ada beberapa teknologi utama limbah menjadi energi meliputi:

19. Insinerasi

Teknologi termal limbah menjadi energi yang melibatkan pembakaran bahan limbah untuk menghasilkan panas, yang dapat digunakan untuk menghasilkan uap dan listrik.

20. Pirolisis dan Gasifikasi

Teknologi limbah termal menjadi energi yang melibatkan konversi bahan limbah menjadi syngas, bio-oil, dan arang melalui proses suhu tinggi tanpa adanya oksigen.

21. Landfill Gas Recovery

Teknologi limbah menjadi energi yang melibatkan pengumpulan dan pengolahan gas metana yang dihasilkan oleh penguraian bahan sampah organik di TPA, yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan panas.

22. Teknologi Biokimia dan Bio-elektrokimia

Teknologi biokimia dan bio-elektrokimia dari limbah menjadi energi, seperti sel bahan bakar

mikroba dan sel elektrolisis mikroba, melibatkan penggunaan mikroorganisme untuk menghasilkan listrik dari bahan limbah organik.



Gambar 7. *Eco Friendly Process*

Teknologi limbah menjadi energi ini merupakan pendekatan berkelanjutan terhadap pengelolaan limbah industri dengan memanfaatkan energi dari bahan limbah, mengurangi dampak pembuangan limbah terhadap lingkungan, dan berkontribusi terhadap masa depan yang lebih berkelanjutan dan berketahanan.

Banyak industri yang berhasil mengurangi produksi limbahnya secara efektif, misalnya Patagonia, sebuah perusahaan pakaian, telah menerapkan Worn Wear program yang melakukan perbaikan dan penjualan kembali produk Patagonia bekas, dan mereka memasukkan bahan daur ulang ke dalam banyak produknya. H&M telah mendirikan anak usaha bernama Looper Textile Co., yang mengumpulkan pakaian bekas untuk dijual kembali ke perusahaan fesyen bekas dan industri daur ulang. Loop adalah platform pengemasan yang dapat digunakan kembali, yang bermitra dengan berbagai perusahaan untuk menyediakan pilihan pengemasan yang lebih berkelanjutan kepada pelanggan, sehingga menghilangkan kebutuhan akan pengemasan sekali pakai. Suez, sebuah perusahaan pengelolaan air dan limbah, berupaya mengembangkan solusi inovatif untuk pengelolaan limbah industri, termasuk pemulihan sumber daya yang bernilai guna dari limbah.

Manfaat ekonomi dan lingkungan dari pengelolaan limbah berkelanjutan sangatlah signifikan. Dengan mengurangi timbulan limbah, perusahaan dapat menghemat biaya pembuangan limbah, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan membuka sumber pendapatan baru melalui model bisnis yang inovatif. Praktik pengelolaan limbah berkelanjutan juga membantu memerangi polusi, mengurangi emisi karbon, dan melindungi ekosistem, sehingga berkontribusi terhadap masa depan yang lebih berkelanjutan dan berketahanan.

D. Tantangan dan Pembelajaran

Berikut adalah kegagalan yang sering terjadi dalam pengelolaan limbah industri dan pembelajaran yang bisa diambil untuk implementasi dan perbaikan di masa depan:

23. Kurangnya Penerapan Ekonomi Sirkular

Banyak industri yang kesulitan menerapkan prinsip-prinsip ekonomi sirkular dalam praktik pengelolaan limbah mereka, sehingga menyebabkan tingginya tingkat timbulan limbah dan dampak terhadap lingkungan. Pembelajaran yang bisa diambil adalah penerapan strategi ekonomi sirkular, seperti pengurangan sampah, penggunaan kembali, dan daur ulang, sangat penting untuk meminimalkan timbulan sampah dan mendorong keberlanjutan.

24. Kerangka Peraturan yang Tidak Memadai

Dalam beberapa kasus, kurangnya peraturan dan kebijakan yang jelas mengenai pengelolaan limbah telah menyebabkan praktik pengolahan dan pembuangan limbah tidak memadai. Pembelajaran yang dapat diambil adalah bahwa pengembangan kerangka peraturan yang kuat sangat penting untuk mendorong praktik pengelolaan limbah berkelanjutan dan memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan.

25. Inovasi Teknologi yang Terbatas

Beberapa industri lamban dalam mengadopsi teknologi inovatif pengolahan limbah menjadi energi, seperti insinerasi, pirolisis, dan pengolahan anaerobik, yang menyebabkan tingginya tingkat timbulan limbah dan dampak terhadap lingkungan. Pembelajaran yang bisa diambil adalah penerapan teknologi inovatif sangat penting untuk mengurangi timbulan sampah dan mendorong

keberlanjutan.

26. Kurangnya Kolaborasi

Dalam beberapa kasus, kurangnya kolaborasi antar pelaku industri telah menyebabkan praktik pengelolaan limbah yang tidak efisien dan tingginya jumlah timbulan limbah. Pembelajaran yang bisa diambil adalah bahwa kolaborasi antar pelaku industri sangat penting untuk mendorong praktik pengelolaan sampah berkelanjutan dan mengurangi timbulan sampah secara kolektif.

SIMPULAN

Rekayasa limbah industri di era Society 5.0 ini berada di persimpangan inovasi dan keberlanjutan. Seiring dengan kemajuan teknologi, pelaku industri menghadapi tantangan dan peluang untuk mengubah praktik rekayasa limbah demi masa depan yang lebih berkelanjutan. Artikel ini mengeksplorasi konteks sejarah, inovasi teknologi, tantangan, pendekatan berkelanjutan dalam rekayasa limbah industri, memberikan pemahaman komprehensif tentang subjek tersebut dalam konteks Society 5.0. Ketika industri terus berkembang, integrasi teknologi inovatif dan praktik berkelanjutan akan memainkan peran penting dalam mendefinisikan ulang lanskap pengelolaan limbah industri.

SARAN

Kegiatan sosialisasi terkait dengan inovasi, tantangan, dan sustainable practice dalam rekayasa limbah industri di era society 5.0 dalam acara Seminar “Destiny System and Technology of Industry 2023”. Semoga dengan adanya materi tentang limbah bisa memberikan kesadaran kepada masyarakat akan pentingnya pengolahan limbah karena limbah merupakan hal yang sangat berbahaya dalam keberlangsungan hidup manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., AlShihri, F. S., AlShammari, M. S., Ahmed, S. M. S., Al-Gehlani, W. A. G., & Alrawaf, T. I. (2022). Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>
- Alao, M. A., Popoola, O. M., & Ayodele, T. R. (2022). Waste-to-energy nexus: An overview of technologies and implementation for sustainable development. *Cleaner Energy Systems*, 3. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100034>
- Andy Rihn. (2021). *A Brief History of Garbage and the Future of Waste Generation*. <https://www.roadrunnerwm.com/blog/history-of-garbage>
- Industrial Waste*. (2023). https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_waste
- Khan, S., Naushad, M., Govarathanan, M., Iqbal, J., & Alfadul, S. M. (2022). *Emerging contaminants of high concern for the environment: Current trends and future research*. 207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112609>
- Richardson, S. D., & Ternes, T. A. (2018). Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. *Analytical Chemistry*, 90(1), 398–428. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.7b04577>
- Sheth, Y., Dharaskar, S., Khalid, M., & Sonawane, S. (2021). An environment friendly approach for heavy metal removal from industrial wastewater using chitosan based biosorbent: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43(November 2020), 100951.
- Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., & Al-Attiya, W. A. K. A. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 58514–58536. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21578-z>
- The Circular Economy in Action Engineering a Zero-Waste Future*. (2023). <https://utilitiesone.com/the-circular-economy-in-action-engineering-a-zero-waste-future>
- Vinod Kumar Garg. (2023). *Green Chemistry Approaches to Environmental Sustainability: Status, Challenges and Prospective*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2022-0-00289-0>
- Williet, J. (2020). *Circular economy for industrial waste: Are we getting closer?*
- Yang, M., Chen, L., Wang, J., Msigwa, G., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2023). Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 55–80. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01499-6>