
INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGY IMPACT ON ENVIRONMENT : A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Oleh

Ainun Syifa Salsabila¹⁾, Ajeng Sekarkirana Pramesti Kameswara²⁾, Fitri Hidayanto³⁾,
Ramlan⁴⁾

^{1,2,3,4}Industrial Engineering Department, BINUS Graduate Program – Master in
Industrial Engineering, Bina Nusantara University, Jakarta, 11480, Indonesia

E-mail: ¹ainunsyifas@gmail.com, ²ajengsekarkpk@gmail.com,
³fitrihidayanto1907@gmail.com, ⁴ramlanlintang@gmail.com

Abstrak

Indonesia menghasilkan limbah padat sekitar 200,000 MT/hari. Pada tahun 2025, ditargetkan sampah ini dapat dikurangi sekitar 30 % dan 70 % dapat dikelola. Pemanfaatan *technology 4.0* menjadi penting dalam mencapai target ini. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pemanfaatan teknologi 4.0 dalam pengelolaan sampah di Indonesia serta tantangannya. Penelitian ini dilakukan dengan metode *systematic literature review* dengan batasan fokus pada pengelolaan limbah di kota Bandung, Denpasar, Ambon, Lombok, Medan, Jayapura, Makassar dan Banjarmasin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan sampah di Indonesia didominasi oleh sistem *open dumping* dan belum menggunakan teknologi 4.0. Untuk membantu pengelolaan sampah di Indonesia, penggunaan teknologi 4.0 seperti *Internet of things* dan *Smartbin*. Hambatan dalam penerapan teknologi ini seperti peraturan pemerintah, *skill* dan pengetahuan, infrastruktur dan kesadaran masyarakat

Kata Kunci: Pengelolaan Sampah, Open Dumping, Teknologi 4.0

PENDAHULUAN

Indonesia dengan jumlah penduduk sekitar 274 juta pada tahun 2020 menghasilkan limbah padat perkotaan mencapai 200,000 MT dalam sehari (Kurniawan, et all, 2021). Pada tahun 2025, Indonesia menginginkan setidaknya 30% dari semua sampah dikurangi, digunakan kembali, dan didaur ulang, dan 70% sisanya dikelola (KLHK, 2020). Indonesia sebagai negara berkembang belum dapat mengelola limbah padat perkotaan dengan baik. beberapa penyebabnya adalah karena pengalokasian biaya pengumpulan sampah yang sangat tinggi, dan sistem pengolahan yang tradisional, kepedulian masyarakat, peraturan pemerintah yang belum diterapkan dan system yang belum terintegrasi. Sebagai contoh, 90 % dari dana pengelolaan sampah ibukota indonesia digunakan untuk pengumpulan sampah dan 10 % lainnya untuk biaya pengolahannya. (Borchard et all, 2021, Kurniawan et all,2021 dan Fatimah et all, 2020). Selain itu, pengelolaan sampah di

Indonesia pada umumnya masih berfokus pada pengumpulan, pemilahan, pembakaran, *Open dumping dan landfill*. (Fatimah et all, 2019). sistem pengolahan ini memiliki banyak kekurangan seperti masalah pada kesehatan, lingkungan dan keselamatan. (Sudibyo, 2017)

Beberapa negara eropa telah menggunakan teknologi 4.0 dalam pengelolaan limbah padat perkotaannya seperti German, Swiss, Belgia dan Spanyol. (Morlok, 2017). Adopsi industry 4.0 dalam pengelolaan sampah telah memberi dampak positif dalam pengembangan lingkungan yang berkelanjutan (Judith et all, 2020). industri 4.0 adalah konsep yang mencakup keragaman teknologi, design sistem dan prosedur untuk membuat sistem lebih *flexible* dan lebih presisi. beberapa bagian dari industri 4.0 ini seperti artificial intelligent, IOT, Augmented realities dan CPSs. (Silva et all, 2019)

Penerapan ICT dan IOT dapat membuat waste management system lebih effective dan



efficient. penerapan ICT dan IOT ini terdiri dari penggunaan sensor, data integrasi, *analitic of things dan cognitive action*. Penggunaan IOT dan ICT ini memungkinkan penggunaan sistem tracking pada pengumpulan sampah sehingga jalur terpendek dalam pengumpulan sampah dapat dipetakan. Selain itu, semua aktifitas dalam pengelolaan sampah dapat di lacak secara *real time* sehingga dapat membuat proses lebih sederhana dan lebih terkendali. (Adam et all, 2018). Beberapa industri juga telah menyediakan layanan dalam pengelolaan sampah yang mengadopsi industri 4.0 seperti Bigbelly dengan *smart binnya*, Rubicon dengan *semi -autonomos trucknya*, AMP Robotic dan Zenrobotic dengan *Robotic automation* untuk pengenalan material. (Bigbelly.com, Rubicon.com , AMPRobotic.com, 2022)

Pengelolaan limbah padat perkotaan indonesia telah menjadi perhatian. beberapa sistem pengelolaan telah disarankan melalui beberapa penelitian seperti, penggunaan Circular economy dengan memanfaatkan IOT dan ICT (Fatimah, 2020), Penggunaan konsep "pay as you throw" dari German (Kurniawan, 2021), Thermal -Based Process (Sudiby, 2017). Pada paper ini, *systematic literature review* dilakukan untuk melihat penerapan teknologi 4.0 di indonesia untuk mencapai target yang telah ditetapkan. Paper ini dapat membantu stakeholder dalam menentukan strategi pengelolaan sampah di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Method pada penelitian ini adalah *systematic literature review* dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Fokus penelitian dilakukan pada pengelolaan limbah padat perkotaan di kota Bandung, Denpasar, Ambon, Lombok, Medan, Jayapura, Makassar dan Banjarmasin
2. Mencari jurnal pada google scholar dengan judul "waste management system in (Nama Kota) dan "Teknologi 4.0 adoption for waste management system in (Nama Kota)"
3. Membatasi pencarian pada 5 tahun terakhir dan menggunakan journal yang terbaru dengan menggunakan fitur filter by date pada google scholar

4. Data yang dicari dalam jurnal adalah sebagai berikut :

- a. Pengelolaan sampah daerah yang dibahas adalah...
- b. Jumlah sampah yang dihasilkan
- c. Sistem pengolahan sampah yang digunakan
- d. Bagaimana daerah tersebut menerapkan teknologi 4.0 pada pengolahan sampahnya?
- e. Apa tantangan yang dihadapi ketika menerapkan teknologi 4.0 pada pengolahan sampah di daerah tersebut

Data dari jurnal kemudian akan dianalisa untuk mendapatkan untuk melihat :

1. Teknologi pengolahan sampah yang paling dominan
2. Tingkat penerapan teknologi 4.0 di Indonesia
3. Tantangan yang dihadapi dalam menerapkan teknologi 4.0 di Indonesia

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil systematic literature review dapat dilihat pada table 1. dari data tersebut data dibuat Analisa sebagai berikut

1. Teknologi pengolahan sampah di Indonesia
Teknologi pengolahan sampah di Indonesia masih di dominasi penggunaan Teknik Open dumping. Metode Open Dumping merupakan sistem pembuangan sampah yang dilakukan secara terbuka. Hal ini akan menjadi masalah jika sampah yang dihasilkan adalah sampah organik yang membusuk karena menimbulkan gangguan pembauan, estetika serta menjadi sumber penularan penyakit.
 - a. Open dumping memiliki beberapa kelebihan seperti:
 - Investasi awal serta biaya operasional yang relatif rendah (murah)
 - Tidak membutuhkan peranan teknologi yang tinggi
 - Dapat menampung berapapun sampah yang ada tergantung dari luasan lahan
 - Tidak perlu mengumpulkan secara terpisah
 - Personel lapangan relatif lebih sedikit
 - Tempat pembuangan sampahnya masih dapat digunakan untuk kepentingan

- lainnya misalnya lapangan, tempat parkir dan sebagainya.
- b. Open dumping memiliki beberapa kekurangan seperti:
- Menimbulkan pencemaran lingkungan yang cukup besar
 - Pencemaran udara terutama terjadi udara oleh gas, bau dan debu.
 - Pencemaran terhadap air tanah oleh terbentuknya leachate
 - Resiko terbakar cukup besar
 - Mudah terjadi kabut asap
 - Mendorong tumbuhnya sarang vektor penyakit (tikus, lalat, nyamuk)
 - Biaya transportasi yang perlu dikeluarkan
 - Mengurangi estetika lingkungan
 - Kebutuhan akan lahan yang cukup besar
 - Lokasi pembuangan sampah yang digunakan dimanfaatkan lebih lama disebabkan sampah yang ada tidak dipadatkan terlebih dahulu.
- c. Dampak yang ditimbulkan dari Open Dumping
- Lindi merupakan limbah cair yang berasal dari sampah basah atau sampah organik yang terkena air hujan. Jika lindi tersebut tidak ditata dengan baik, maka dapat menyebar ke dalam tanah dan masuk ke aquifer air tanah yang dapat menyebabkan pencemaran air tanah.
 - Penyumbatan badan air
 - Cairan yang dihasilkan akibat proses penguraian (leachate) dapat mencemari sumber air
 - Lahan yang luas akan tertutup oleh sampah dan tidak dapat digunakan untuk tujuan lain.
 - Gas yang dihasilkan dalam proses penguraian akan terperangkap di dalam tumpukan sampah dapat menimbulkan ledakan jika mencapai kadar dan tekanan tertentu
 - Sungai dan pipa air minum mungkin teracuni karena bereaksi dengan zat-zat atau polutan sampah.
2. Penggunaan Teknologi 4.0 dalam pengelolaan sampah di Indonesia

Penggunaan teknologi 4.0 di Indonesia masih belum optimal. Dari data yang diperoleh, big data merupakan bagian teknologi 4.0 yang paling banyak digunakan. Big data merupakan kumpulan data yang lebih kompleks, terutama dari sumber data baru. Kumpulan data ini sangat banyak sehingga perangkat lunak pemrosesan data tradisional tidak dapat mengelolanya. Tetapi volume data yang sangat besar ini dapat digunakan untuk mengatasi masalah bisnis yang sebelumnya tidak dapat ditangan (Oracle, 2022).

Pada prakteknya, data yang ada hanya digunakan untuk mengetahui jumlah sampah yang masuk ke landfill. Data sampah yang masuk belum dipisahkan dan disortir berdasarkan tipe sampah yang masuk seperti sampah organik, plastik, besi, dan lain lain. Kondisi ini menyulitkan untuk melakukan pengolahan data lanjutan. Padahal, pemilahan data sampah ini dapat meningkatkan efisiensi pengolahan sampah, menentukan Teknik pengolahan sampah dan meningkatkan pelayanan pengelolaan sampah. Sebagai contoh, sebuah penelitian yang dilakukan di Jepang menunjukkan bahwa pemilahan jenis sampah yang masuk ke landfill dapat mengurangi 26 % biaya pengolahan sampah. (Khair et all, 2019). Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan sensor dengan system yang terintegrasi dapat memisahkan limbah ini (Fatimah et all, 2020).

Penerapan teknologi 4.0 pada pengolahan sampah di Indonesia seharusnya dapat mengurangi permasalahan sampah di Indonesia seperti banyaknya sampah yang tercecer atau tidak terkelola. Penggunaan teknologi 4.0 seperti IOT dan smart bin akan dapat melacak keberadaan sampah sehingga sampah yang tercecer dan menghindari tempat sampah *over capacity* (Murugaanandam , et all,2018)

3. Tantangan dalam menggunakan teknologi 4.0 di Indonesia

Meskipun penerapan teknologi 4.0 dapat memperbaiki pengolahan sampah namun di Indonesia teknologi ini belum banyak dimanfaatkan. Beberapa faktor penyebabnya seperti peraturan pemerintah yang belum mendukung. Meski pemerintah telah



berkomitmen untuk menurunkan efek dari limbah perkotaan namun kebijakan yang dibuat belum mendukung penggunaan teknologi dalam pengelolaannya. Keterbatasan dana dari pemerintah juga membuat infrastruktur yang mendukung penerapan teknologi pada pengolahan sampah ini menjadi terhambat. Kekurangan dana ini sebenarnya bisa diatasi dengan membuat pengolah limbah yang ada lebih menguntungkan secara finansial (Fatimah et all, 2020, Khair et all, 2019 dan Kinantan et all, 2019)

Selain itu, penggunaan teknologi membutuhkan pengetahuan pengetahuan dan skill baru yang saat ini belum banyak dikuasai oleh stakeholder yang terlibat dalam pengelolaan sampah. Pengetahuan untuk menjaga, maintenance dan service teknologi yang baru masih menjadi tantangan dalam penerapan teknologi di Indonesia (Fatimah et all, 2020)

Penggunaan teknologi juga membutuhkan kehandalan dan kemudahan dalam akses internet. Aksesinternet yang terbatas juga menghambat penggunaan teknologi ini pada pengolahan sampah. Selain itu, memastikan komunikasi dengan tepat dan mensinergikan komunikasi antara komponen fisik dan komputasi, juga menjadi tantangan dalam penerapan teknologi Cyber-Physic di Indonesia (Fatimah et all, 2020)

Kesadaran masyarakat serta dan penyesuaian untuk bekerja berdampingan dengan teknologi baru menjadi tantangan. Kondisi ini terlihat dari beberapa program pengelolaan sampah yang diselenggarakan pemerintah seperti bank sampah. Seperti contoh di kota Medan, hanya 13 bank sampah yang digunakan sesuai fungsinya dari 143 bank sampah yang sudah disiapkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa selain merancang teknologi baru, kesadaran dari masyarakat juga perlu ditingkatkan. Bank sampah yang tidak digunakan dengan baik ini bisa dilihat dari sampah yang tidak di tempatkan sesuai kriterianya. Padahal pemisahan sampah ini sangat membantu dalam proses pengolahan sampah dan mengurangi beban kerja teknologi

yang digunakan (khair et all, 2019 & Kinantan et all, 2019).

Tabel 1. Pengelolaan sampah di Indonesia

Item	Kota							
	Bandung	Denpasar	Ambon	Lombok	Medan	Jayapura	Makassar	Banjarmasin
Jumlah sampah padat perkotaan yang dihasilkan (ton tahun)	549.000	366.000	1.120	2.927	622.206,89	4.593,3	129,2	181536
Sistem pengolahan sampah yang digunakan	Sanitary landfill	Open dumping	Open dumping	Open dumping	Open dumping	Open dumping	Open dumping, Bank sampah	Pembakaran, Open dumping
Penerapan teknologi 4.0 pada pengolahan sampah	Big data	Big data	Big data	Big data	Big data	Big data	Big data	Big data
Tantangan penerapan teknologi 4.0 pada pengolahan sampah padat perkotaan	<ul style="list-style-type: none"> • Komitmen pemerintah • Budget • Kekurangan infrastruktur • Budaya masyarakat • Limited internet access & bandwidth • Masyarakat kurang proaktiv • Minim penggunaan teknologi 							

PENUTUP

Kesimpulan

Padatnya jumlah penduduk Indonesia diikuti dengan hasil sampah yang dihasilkan. Maka dari itu, dibutuhkannya strategi pengelelolaan sampah di Indonesia. Berdasarkan hasil analisa dari systematik literatur review pada table 1 terbagi 3 bagian yaitu berdasarkan teknologi pengolahan sampah di Indonesia, penggunaan teknologi 4.0 dalam pengelolaan sampah di Indonesia dan tantangan dalam menggunakan teknologi 4.0 di Indonesia. Teknologi yang paling banyak digunakan di Indonesia menggunakan teknik open dumping yang dimana sistem pembuangan sampah yang dilakukan secara terbuka. Biaya operasional yang relatif rendah dan tidak membutuhkan peranan teknologi yang tinggi merupakan salah satu dari kelebihan teknik open dumping. Namun, dumping mempunyai salah satu kekurangan yang berdampak kepada lingkungan, yaitu pencemarah terhadap lingkungan, air dan udara. Dampak yang ditimbulkan juga mengarah ke pencemaran lingkungan.

Penggunaan teknologi 4.0 dalam pengelolaan sampah di Indonesia juga masih belum optimal dan yang paling banyak digunakan adalah big data. Pada praktek lapangan, data hanya digunakan untuk mengetahui jumlah sampah yang masuk ke landfill, sedangkan penerapan teknologi 4.0 ini untuk dapat membantu mengurangi masalah sampah di Indonesia belum optimal. Dengan menggunakan teknologi 4.0 seperti IOT dan smartbin akan dapat membantu membuat hasil pengelolaan sampah lebih optimal di Indonesia.

Banyak tantangan yang dihadapi ketika menggunakan teknologi 4.0 di Indonesia, terutama peraturan pemerintah yang belum mendukung. Selain itu juga membutuhkan pengetahuan dan skill baru mengenai pengelolaan sampah serta kesadaran dan penyesuaian masyarakat untuk berkerja berdampingan dengan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Murugaanandam, S., V. Ganapathy, and R. Balaji. "Efficient IOT based smart bin for clean environment." 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). IEEE, 2018.
- [2] Fatimah, Yun Arifatul, Andi Widiyanto, and Muhtar Hanafi. "Cyber-physical system enabled in sustainable waste management 4.0: a smart waste collection system for Indonesian semi-urban cities." *Procedia Manufacturing* 43 (2020): 535-542.
- [3] Rantetoding, Rosa, Onny Setiani, and Mursid Raharjo. "Kajian teknis dan manajerial pengelolaan sampah dan kaitannya dengan kesehatan lingkungan di Kota Jayapura." *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 5.1 (2006): 4837.
- [4] Khair, Hafizhul, et al. "Material Flow Analysis of Waste Bank Activities in Indonesia: Case Study of Medan City." *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*. p-ISSN (2019): 2579-9150.
- [5] Ramandey, Lazarus B. "Waste Management Strategic Planning: Waste Management in Jayapura City." *Technology* 4.1 (2016): 13-15.
- [6] Kinantan, Bag, A. Rahim Matondang, and Juliza Hidayati. "Design of Integrated Waste Management Model of Medan City With Dynamic System Approach." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 505. No. 1. IOP Publishing, 2019.
- [7] Khair, Hafizhul, Indriyani Rachman, and Toru Matsumoto. "Analyzing household waste generation and its composition to expand the solid waste bank program in Indonesia: a case study of Medan City." *Journal of Material Cycles and Waste Management* 21.4 (2019): 1027-1037.
- [8] Borchard, Rebecca, Roman Zeiss, and Jan Recker. "Digitalization of waste management: Insights from German private and public waste management firms." *Waste Management & Research* (2021): 0734242X211029173.
- [9] Kurniawan, Tonni Agustiono, et al. "City-to-city level cooperation for generating urban co-benefits: the case of technological cooperation in the waste sector between Surabaya (Indonesia) and Kitakyushu (Japan)." *Journal of cleaner production* 58 (2013): 43-50.
- [10] Fatimah, Yun Arifatul, et al. "Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia." *Journal of Cleaner Production* 269 (2020): 122263.
- [11] Sudiby, Hanifrahmawan, et al. "Technological evaluation of municipal solid waste management system in Indonesia." *Energy Procedia* 105 (2017): 263-269.
- [12] Morlok, Juergen, et al. "The impact of pay-as-you-throw schemes on municipal solid waste management: The exemplar case of the county of Aschaffenburg, Germany." *Resources* 6.1 (2017): 8.
- [13] Oláh, Judit, et al. "Impact of Industry 4.0 on environmental sustainability." *Sustainability* 12.11 (2020): 4674.
- [14] Da Silva, Vander Luiz, et al. "Implementation of Industry 4.0 concept in companies: Empirical evidences." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 33.4 (2020): 325-342.
- [15] Adam, Mohammed, et al. "Waste management system using iot." 2018 International conference on computer,



control, electrical, and electronics engineering (ICCCEEE). IEEE, 2018.

- [16] <https://bigbelly.com//Diakses> pada 2022
- [17] <https://www.rubicon.com//> diakses pada 2022
- [18] <https://www.amrobotics.com/Diakses> pada 2022
- [19] <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/d/ata/capaian/diakses> pada 2022