GEOFORUM: Jurnal Geografi dan Pendidikan Geografi
E-ISSN: 2830-68992. P-ISSN: 3025-5562 Volume 3 Nomor 1. Juni 2024 (1-18).
Url: https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/jgse
DOI: https://doi.org/10.30598/geoforumvol3iss1pp1-18

Strategi Inovatif untuk Pengelolaan Sampah Perkotaan: Integrasi Teknologi dan Partisipasi Masyarakat

Innovative Strategies for Urban Waste Management: Integration of Technology and Community Participation

Mohammad Amin Lasaiba[1]*, Irvan Lasaiba[2]
[2]Program studi Pendidikan Geografi FKIP, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia
[2]Jurusan Biologi, FITK IAIN, Ambon

***Corresponding Author**
E-mail: lasaiba.dr@gmail.com
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-5363-6198

Article Info: Submitted: 30 Januari 2024| Revised: 06 Februari 2024| Accepted: 10 Mei 2024| Published 30 Juni 2024

Abstrak: Pengelolaan sampah perkotaan adalah aspek yang tidak dapat dihindari dalam upaya untuk menjaga dan meningkatkan kualitas hidup di kota-kota di seluruh dunia. Penelitian ini mengkaji berbagai aspek pengelolaan sampah perkotaan dengan mengadopsi metode penelitian literatur. Dalam konteks pengelolaan sampah perkotaan, ini bukan hanya masalah lokal, tetapi juga memiliki dampak signifikan pada lingkungan, kesehatan masyarakat, dan keberlanjutan kota-kota di masa depan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan sampah perkotaan adalah isu penting dan kompleks yang dihadapi oleh banyak kota di seluruh dunia. Tantangan-tantangan yang terlibat memerlukan solusi berkelanjutan untuk memastikan keberlanjutan kota-kota di masa depan. Salah satu langkah kunci dalam mengatasi tantangan ini adalah meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang benar. Dengan pendidikan dan kampanye yang tepat, masyarakat dapat lebih memahami dan menghargai praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan seperti pemilahan sampah, daur ulang, dan pengurangan sampah. Dengan mengembangkan infrastruktur yang sesuai dan menerapkan solusi inovatif, kota-kota dapat mengurangi dampak negatif dari pengelolaan sampah.

Kata Kunci: Strategi Inovatif, Pengelolaan Sampah Perkotaan

Abstract: *Urban waste management is unavoidable in efforts to maintain and improve the quality of life in cities worldwide. This research examines various aspects of urban waste management by adopting a literature review methodology. In the context of urban waste management, it is not just a local issue but also significantly impacts the environment, public health, and future cities' sustainability. The study's findings indicate that urban waste management is a critical and complex issue many cities face globally. The challenges involved require sustainable solutions to ensure the future sustainability of cities. One crucial step in addressing these challenges is raising public awareness about the importance of proper waste management. The public can better understand and appreciate sustainable waste management practices such as segregation, recycling, and waste reduction through appropriate education and campaigns. By developing the necessary infrastructure and implementing innovative solutions, cities can reduce the negative impacts of waste management.*

Keywords: *Innovative Strategies, Urban Waste Management*

Citation Guide: Lasaiba, M. A., & Lasaiba, I. (2024). Strategi Inovatif untuk Pengelolaan Sampah Perkotaan: Integrasi Teknologi dan Partisipasi Masyarakat. *GEOFORUM Jurnal Geografi dan Pendidikan Geografi, 3 (1), 1-18.* https://doi.org/10.30598/geoforumvol3iss1pp1-18

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah perkotaan adalah isu global yang semakin mendesak karena dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat (Jambeck et al., 2015). Hal ini merupakan aspek penting dalam menjaga kualitas hidup di kota-kota (Batista et al., 2021). Pengelolaan sampah perkotaan telah menjadi perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir, terutama karena pertumbuhan populasi yang cepat di perkotaan (Huang et al., 2022). Sampah perkotaan melibatkan berbagai jenis limbah, termasuk sampah rumah tangga, komersial, dan industri, dan volumenya terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi yang pesat (Hoornweg et al., 2013). Salah satu faktor utama yang berkontribusi pada masalah sampah perkotaan adalah pertumbuhan populasi yang cepat di perkotaan. Migrasi massal ke kota-kota besar untuk mencari pekerjaan dan peluang hidup yang lebih baik telah mengakibatkan peningkatan signifikan dalam jumlah sampah yang dihasilkan oleh penduduk perkotaan (UN-Habitat, 2018). Selain itu, hal ini telah memengaruhi perubahan pola konsumsi masyarakat (Kumar & Agrawal, 2020). Semakin banyak orang yang tinggal di kota, semakin tinggi volume sampah yang harus dikelola oleh pemerintah kota. Sampah perkotaan melibatkan berbagai jenis limbah, termasuk sampah rumah tangga, komersial, dan industri, sehingga memerlukan pendekatan yang holistik dalam pengelolaannya (Khosravani et al., 2023).

Pertumbuhan populasi perkotaan yang cepat merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi pada peningkatan masalah sampah perkotaan. Tingginya tingkat urbanisasi mendorong migrasi penduduk ke kota-kota besar untuk mencari pekerjaan dan peluang ekonomi (World Bank, 2022). Demikian pula, gaya hidup modern telah menyebabkan peningkatan produksi sampah (UNESCO, 2021). Perubahan perilaku konsumen juga turut berperan dalam peningkatan produksi sampah perkotaan (Adelina & Archer, 2024). Di masyarakat modern, konsumen sering membeli dan menggunakan barang-barang seperti kemasan plastik, elektronik, dan produk konsumen lainnya (Ellen & Company, 2014). Barang-barang ini sering sulit didaur ulang dengan efisien, sehingga berakhir di tempat pembuangan sampah yang penuh dan tidak terkendali. Selain itu, orang cenderung lebih bergantung pada barang-barang sekali pakai, yang dapat meningkatkan jumlah sampah yang dihasilkan (UNEP, 2022; Phelan et al., 2022). Oleh karena itu, perubahan perilaku konsumen dan pengurangan penggunaan produk sekali pakai telah menjadi hal yang sangat penting dalam mengatasi masalah sampah perkotaan (IPCC, 2021). Infrastruktur pengelolaan sampah yang tidak memadai seringkali tidak dapat mengikuti pertumbuhan ini, yang mengakibatkan pencemaran lingkungan dan masalah kesehatan masyarakat (EPA, 2020).

Untuk mengatasi kompleksitas masalah sampah perkotaan dengan efektif, diperlukan kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat. Sumber daya dan teknologi inovatif harus dimanfaatkan untuk pengelolaan sampah yang efisien, serta pendidikan publik untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengurangan sampah, daur ulang, dan penggunaan produk konsumen yang bertanggung jawab (Oteng-ababio et al., 2018). Penyediaan infrastruktur pengelolaan sampah yang memadai, promosi daur ulang, dan kampanye kesadaran lingkungan adalah langkah-langkah penting dalam mengatasi tantangan ini (Xocaira Paes & de Oliveira, 2021; Zhou et al., 2022). Melalui upaya bersama, kita dapat mengurangi dampak negatif sampah

perkotaan terhadap lingkungan dan meningkatkan kualitas hidup di kota-kota.

Masalah pengelolaan sampah perkotaan juga diperparah oleh kurangnya kesadaran dan edukasi masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik. Banyak orang tidak memahami dampak negatif dari perilaku mereka terhadap lingkungan dan seringkali membuang sampah secara sembarangan, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, termasuk pencemaran air dan udara, serta berbagai masalah kesehatan masyarakat (Huang et al., 2022). Pencemaran lingkungan adalah salah satu dampak yang paling mencolok dari masalah sampah perkotaan. Sampah yang dibuang dengan tidak benar dapat mencemari tanah, air, dan udara (Suruliraj et al., 2020). Sampah yang dikelola dengan buruk dapat mencemari air tanah, menyebabkan kerusakan ekosistem, dan mengganggu kehidupan satwa liar (Gutberlet, 2017). Pencemaran udara juga dapat terjadi ketika sampah dibakar atau terurai dengan tidak benar, menghasilkan emisi berbahaya yang merusak kualitas udara dan kesehatan manusia (Manisalidis et al., 2020). Selain pencemaran lingkungan, masalah pengelolaan sampah perkotaan juga dapat berdampak negatif pada kesehatan masyarakat. Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menjadi tempat berkembang biaknya penyakit dan menjadi habitat bagi serangga dan hewan pengerat yang dapat menyebarkan penyakit (Rautela et al., 2021). Selain itu, pembakaran sampah yang tidak terkontrol dapat menghasilkan polusi udara yang dapat memengaruhi sistem pernapasan manusia dan menyebabkan masalah kesehatan seperti asma dan penyakit pernapasan lainnya (Sharma et al., 2021).

Dalam skala global, masalah sampah perkotaan juga memiliki dampak yang lebih luas. Banyak negara mengimpor sampah dari negara lain untuk diproses, dan masalah pengelolaan sampah dapat menciptakan ketegangan dalam hubungan internasional (Yongming et al., 2022). Beberapa negara yang menerima impor sampah telah mengalami masalah lingkungan dan kesehatan yang serius akibat praktik pengelolaan sampah yang buruk (Giusti, 2009). Dalam menghadapi masalah sampah perkotaan, banyak kota dan pemerintah di seluruh dunia telah mencoba berbagai pendekatan untuk mengelola sampah perkotaan dengan lebih baik (Huang et al., 2022). Salah satu pendekatan yang paling umum adalah pengembangan sistem pengumpulan sampah yang efisien dan efektif, termasuk pengaturan jadwal pengumpulan sampah yang teratur dan pembuangan yang aman dan sesuai peraturan (Gutberlet, 2017). Terdapat juga upaya untuk meningkatkan daur ulang dan penggunaan kembali sampah, termasuk pendidikan masyarakat tentang pentingnya daur ulang dan penggunaan kembali, serta pengembangan fasilitas daur ulang yang memadai (Kurniawan et al., 2022). Melalui upaya ini, sampah yang sebelumnya dibuang ke tempat pembuangan sampah dapat diproses kembali menjadi bahan yang dapat digunakan kembali, mengurangi tekanan pada lingkungan (Kanwal et al., 2023).

Dalam upaya untuk mengatasi masalah sampah perkotaan dengan lebih efektif, penting juga untuk mengintegrasikan teknologi yang lebih canggih dalam pengelolaan sampah perkotaan. Teknologi seperti pengolahan sampah menjadi energi, komposter otomatis, dan sistem pemantauan berbasis sensor dapat membantu mengurangi dampak negatif dari sampah perkotaan (Huang et al., 2022). Dalam upaya untuk mengatasi masalah sampah perkotaan dengan lebih efektif, penting juga untuk memperhatikan inovasi dalam pengelolaan limbah plastik. Limbah plastik merupakan salah satu komponen utama dalam sampah perkotaan yang memiliki dampak lingkungan yang serius. Oleh karena itu, pengembangan teknologi daur ulang plastik yang lebih efisien dan ramah lingkungan menjadi sangat penting (Jambeck et al., 2015). Teknologi informasi dan aplikasi seluler juga dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan sampah dan mendorong partisipasi dalam upaya pengurangan sampah (Suruliraj et al., 2020).

Dalam menghadapi masalah sampah perkotaan, pendekatan berbasis masyarakat juga tidak boleh diabaikan. Melibatkan masyarakat secara aktif dalam proses pengambilan keputusan terkait pengelolaan

sampah, seperti pembentukan kelompok swadaya masyarakat untuk pengumpulan sampah atau program pemilahan sampah di tingkat rumah tangga, dapat meningkatkan kesadaran dan tanggung jawab individu terhadap sampah yang dihasilkan (Abdullahi & Polytechnic, 2017). Selain itu, edukasi masyarakat tentang bahaya plastik sekali pakai dan kampanye untuk mengurangi penggunaan plastik dapat membantu mengurangi akumulasi limbah plastik dalam lingkungan perkotaan (Geyer et al., 2017). Kesadaran masyarakat juga merupakan bagian integral dari solusi (Gutberlet, 2017). Ini juga dapat memberikan peluang ekonomi kepada masyarakat lokal yang terlibat dalam kegiatan pengelolaan sampah. Selain itu Program edukasi yang efektif dapat membantu meningkatkan pemahaman masyarakat tentang dampak lingkungan dan kesehatan dari sampah perkotaan. Dengan pemahaman yang lebih baik, masyarakat akan lebih cenderung berpartisipasi dalam upaya pengurangan dan pengelolaan sampah yang lebih baik.

Dalam mengatasi masalah sampah perkotaan, penting juga untuk mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi. Banyak pekerja informal yang mengumpulkan dan mendaur ulang sampah untuk mencari penghasilan (Manisalidis et al., 2020). Penting untuk memastikan bahwa mereka memiliki akses ke pekerjaan yang aman dan berkelanjutan sambil melindungi hak-hak pekerja mereka. Selain itu, pemerintah dapat memberikan insentif ekonomi bagi perusahaan dan individu yang berpartisipasi dalam program pengelolaan sampah yang berkelanjutan (UNEP, 2022). Pengelolaan sampah perkotaan juga harus mengintegrasikan konsep pembangunan berkelanjutan, yang berarti mempertimbangkan dampak jangka panjang dari kebijakan dan tindakan dalam pengelolaan sampah (UNDP, 2020). Untuk mencapai hasil yang berkelanjutan dalam pengelolaan sampah perkotaan, penting untuk memonitor dan mengevaluasi efektivitas kebijakan dan program yang telah diterapkan secara berkala. Dengan pemantauan yang baik, kita dapat mengidentifikasi masalah yang mungkin muncul dan menyesuaikan strategi kita sesuai kebutuhan (UNEP, 2022).

METODE

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kualitatif yang memungkinkan peneliti untuk memahami dan menginterpretasikan fenomena kompleks, seperti masalah pengelolaan sampah perkotaan. Pendekatan kualitatif memberikan fleksibilitas untuk menjelajahi berbagai dimensi dan faktor yang terlibat dalam pengelolaan sampah, termasuk aspek sosial, lingkungan, dan ekonomi. Dalam konteks penelitian ini, pengumpulan data dilakukan melalui pendekatan berbasis literatur, yang mencakup tinjauan literatur dan analisis dokumen yang relevan. Data-data tersebut mencakup temuan penelitian, laporan, artikel ilmiah, dan sumber teks lainnya yang relevan dengan topik pengelolaan sampah perkotaan. Pendekatan berbasis literatur memungkinkan peneliti untuk mengumpulkan informasi mendalam tentang masalah pengelolaan sampah, mengidentifikasi tren, perbandingan, dan peluang yang relevan dalam memahami tantangan yang dihadapi oleh kota-kota di seluruh dunia.

Pendekatan berbasis literatur dalam pengumpulan dan analisis data juga memberikan keuntungan dalam mengintegrasikan temuan dari berbagai sumber pengetahuan yang telah ada. Ini memungkinkan peneliti untuk membangun kerangka konseptual yang kokoh berdasarkan pemahaman mendalam tentang masalah pengelolaan sampah perkotaan. Selanjutnya, analisis data dalam penelitian ini akan melibatkan pengumpulan informasi dari berbagai sumber untuk membandingkan dan mengevaluasi pendekatan, kebijakan, dan praktik yang diterapkan di berbagai kota di seluruh dunia. Metode penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih baik tentang tantangan dan peluang dalam pengelolaan sampah perkotaan dan menawarkan rekomendasi yang lebih informatif dan berbasis bukti untuk meningkatkan keberlanjutan praktik-praktik ini di masa depan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tantangan dalam Pengelolaan Sampah Perkotaan

Pengelolaan sampah perkotaan menghadapi berbagai tantangan kompleks. Beberapa tantangan utama dalam pengelolaan sampah perkotaan adalah sebagai berikut:

Volume Sampah yang Meningkat

Dalam penelitian oleh Huang et al, (2022), menunjukkan bahwa pertumbuhan populasi yang cepat di kota-kota besar secara signifikan meningkatkan volume sampah perkotaan. Selain itu, urbanisasi yang berlanjut juga merupakan faktor penting yang berdampak pada volume sampah di perkotaan. Saat penduduk berpindah ke kota-kota besar untuk mencari pekerjaan dan peluang, permintaan akan layanan perkotaan seperti air bersih, listrik, dan transportasi meningkat. Hal ini menghasilkan lebih banyak limbah yang dihasilkan dalam proses pengembangan infrastruktur perkotaan (Suruliraj et al., 2020). Dalam menghadapi masalah volume sampah yang terus meningkat, penting untuk mengadopsi sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan. Menurut UNEP (2022), pengembangan infrastruktur pengelolaan sampah yang modern, termasuk fasilitas daur ulang dan pembangkit listrik dari sampah, dapat membantu mengurangi dampak negatif dari volume sampah perkotaan. Selain itu, edukasi masyarakat tentang pengelolaan sampah yang baik juga merupakan kunci dalam mengubah perilaku konsumen dan mengurangi limbah yang dihasilkan (Gutberlet, 2017). Dengan mengintegrasikan solusi ini, kita dapat mengurangi volume sampah perkotaan yang berlebihan dan menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih berkelanjutan.

Selain pertumbuhan populasi, urbanisasi juga menjadi faktor penting dalam peningkatan volume sampah kota. Urbanisasi melibatkan migrasi penduduk dari pedesaan ke perkotaan. Ketika orang-orang pindah ke kota yang lebih besar, mereka cenderung mengadopsi gaya hidup yang lebih modern, termasuk konsumsi barang-barang yang lebih banyak, sehingga kota menjadi pusat konsumsi yang meningkat, berdampak pada peningkatan volume sampah. Urbanisasi juga seringkali mengubah pola konsumsi, seperti beralih dari makanan tradisional ke makanan cepat saji yang sering dikemas dengan material plastik, yang juga berkontribusi pada peningkatan volume sampah plastik di perkotaan. Dampak dari peningkatan volume sampah perkotaan sangat serius, antara lain:

- Volume sampah yang tinggi dapat menyebabkan masalah kesehatan masyarakat. Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menjadi tempat berkembang biak bagi penyakit, dan aroma tidak sedap dari tumpukan sampah dapat mengganggu kualitas hidup penduduk perkotaan.
- Peningkatan volume sampah juga dapat berdampak negatif pada lingkungan. Banyak sampah yang tidak terurai dengan baik, seperti plastik, dapat mencemari air dan tanah, menyebabkan kerusakan ekosistem.
- Pembuangan sampah yang tidak teratur dapat menyebabkan banjir dan erosi tanah.

Oleh karena itu, sangat penting untuk memiliki sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan di perkotaan. Salah satu langkah pertama adalah meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya daur ulang dan pengurangan sampah. Pendidikan masyarakat tentang cara meminimalkan pembuatan sampah dan daur ulang dapat mengurangi tekanan pada sistem pengelolaan sampah. Pemerintah juga dapat memperbaiki sistem pengelolaan sampah dengan menginvestasikan lebih banyak sumber daya dalam infrastruktur yang diperlukan, seperti fasilitas pembuangan sampah yang aman dan fasilitas daur ulang. Selain itu, teknologi dapat membantu mengatasi masalah volume sampah perkotaan. Teknologi daur ulang yang canggih dapat mendaur ulang lebih banyak jenis sampah, termasuk plastik sulit terurai. Penggunaan teknologi untuk memantau dan mengelola tempat pembuangan sampah dapat membantu mencegah pencemaran lingkungan dan mengurangi risiko kesehatan masyarakat.

Pemerintah dan sektor swasta juga dapat bekerja sama untuk mengembangkan solusi yang lebih berkelanjutan dalam pengelolaan sampah perkotaan. Misalnya, program insentif dapat diperkenalkan untuk mendorong masyarakat dan bisnis mengurangi sampah. Program-program ini dapat memberikan insentif keuangan atau hadiah kepada mereka yang berhasil mengurangi sampah atau mendaur ulang lebih banyak sampah. Penting juga untuk menjelajahi alternatif pengemasan yang ramah lingkungan. Banyak barang konsumen saat ini dikemas dengan plastik sekali pakai yang sulit terurai. Beralih ke bahan pengemasan yang dapat didaur ulang atau mudah terurai dapat membantu mengurangi volume sampah plastik di perkotaan. Dalam mengatasi peningkatan volume sampah perkotaan, mengadopsi pendekatan holistik yang melibatkan semua pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, masyarakat, dan industri, sangat penting. Hanya melalui upaya kolaboratif dapat mencapai sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan akibat penanganan sampah yang tidak tepat merupakan isu serius yang memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan kesehatan manusia. Seperti yang dikemukakan oleh Gaikwad et al, (2023), pencemaran tanah karena pembuangan sampah yang tidak sesuai dapat menyebabkan akumulasi zat beracun dalam tanah yang berdampak negatif pada produktivitas lahan pertanian dan lingkungan hidup sekitarnya. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Huang et al, (2022) menekankan bahwa pencemaran air yang disebabkan oleh limbah sampah dapat mengancam kualitas sumber daya air dan kesehatan manusia. Ini menjadi perhatian utama dalam konteks penyediaan air bersih dan kebutuhan dasar manusia. Selain itu, permasalahan pencemaran udara yang disebabkan oleh pembakaran sampah yang tidak terkontrol adalah masalah yang serius dalam kesehatan manusia dan lingkungan. Manisalidis et al, (2020) mencatat bahwa emisi gas beracun dan partikel berbahaya yang dilepaskan selama proses pembakaran sampah dapat menyebabkan masalah pernapasan pada manusia dan merusak ekosistem darat dan air. Oleh karena itu, pemahaman akan konsekuensi penanganan sampah yang tidak tepat adalah langkah penting dalam upaya kita untuk melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Selain itu, pencemaran air merupakan dampak serius dari penanganan sampah yang tidak tepat. Ketika sampah mencemari sumber air seperti sungai dan danau, dapat mengancam kehidupan akuatik, termasuk ikan dan organisme air lainnya. Pencemaran juga dapat memengaruhi kualitas air yang digunakan untuk konsumsi manusia. Air yang tercemar oleh limbah kimia atau bakteri berbahaya dapat menyebabkan penyakit dan masalah kesehatan serius pada manusia yang mengonsumsinya. Selain itu, pencemaran air juga dapat mempengaruhi ketahanan air, karena sumber air yang tercemar menjadi tidak dapat digunakan lagi untuk kebutuhan sehari-hari seperti mandi, memasak, dan minum. Pencemaran udara adalah masalah serius lain yang disebabkan oleh penanganan sampah yang tidak tepat. Pembakaran sampah yang tidak terkontrol atau penggunaan bahan bakar fosil untuk pengelolaan sampah dapat menghasilkan emisi gas beracun dan partikel-partikel kecil yang dapat mencemari udara. Pencemaran udara dapat menyebabkan masalah pernapasan pada manusia, seperti asma dan penyakit paru-paru obstruktif kronis (PPOK). Ini juga dapat memengaruhi ekosistem darat dan air, karena partikel-partikel yang mencemari udara dapat jatuh ke tanah atau air dan mengganggu organisme di sana.

Konsekuensi dari pencemaran lingkungan juga memiliki dampak serius pada kesehatan manusia. Paparan terhadap zat beracun yang dihasilkan oleh pencemaran lingkungan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan pernapasan, penyakit kulit, kerusakan organ internal, dan bahkan kanker. Pencemaran lingkungan juga dapat mengganggu pola hidup organisme dalam ekosistem, mengancam ketahanan pangan dan keseimbangan alam secara keseluruhan. Oleh karena itu, penting untuk mengambil tindakan

yang efektif dalam pengelolaan sampah untuk mencegah pencemaran lingkungan. Salah satu langkah pertama adalah memperbaiki sistem pengelolaan sampah, termasuk pengumpulan, pengolahan, dan pembuangan sampah. Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pembuangan sampah yang benar dan daur ulang juga merupakan bagian penting dari solusi. Pemerintah perlu berperan aktif dalam mengatur dan mengawasi praktik pengelolaan sampah serta mendorong inovasi dalam daur ulang dan pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Upaya juga harus dilakukan untuk mengurangi produksi sampah.

Tingkat Recycle yang Rendah

Seperti yang disoroti oleh Little et al, (2016), tingkat daur ulang yang rendah di banyak kota adalah indikasi dari tantangan serius dalam pengelolaan sampah perkotaan. Meskipun upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya daur ulang, perlu ada perubahan nyata dalam sistem pengumpulan dan pemrosesan sampah untuk mencapai tingkat daur ulang yang lebih tinggi. Penelitian oleh Huang et al, (2022) juga menekankan bahwa daur ulang adalah kunci dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, termasuk pengurangan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, perlu adanya investasi lebih lanjut dalam infrastruktur daur ulang dan edukasi masyarakat tentang praktik daur ulang yang benar. Dalam mengatasi masalah tingkat daur ulang yang rendah, perlu ada kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat. Seperti yang dicatat oleh Gutberlet (2017), kolaborasi ini diperlukan untuk mengembangkan inisiatif yang dapat meningkatkan proses daur ulang dan mendukung ekonomi sirkular. Pemerintah dapat memberikan insentif kepada perusahaan untuk mendukung praktik daur ulang yang berkelanjutan, sementara masyarakat juga harus aktif dalam memisahkan sampah mereka dan mengikuti program daur ulang yang ada. Dengan langkah-langkah konkret ini, kita dapat bergerak menuju sistem pengelolaan sampah perkotaan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Salah satu alasan utama dari tingkat daur ulang yang rendah adalah kurangnya infrastruktur yang memadai untuk mendukung proses daur ulang. Banyak kota masih belum memiliki fasilitas daur ulang yang memadai, sehingga material yang seharusnya dapat didaur ulang akhirnya berakhir di tempat pembuangan sampah. Bahkan di kota-kota yang memiliki fasilitas daur ulang, kapasitasnya seringkali tidak mencukupi untuk mengatasi volume sampah yang dihasilkan oleh populasi yang besar. Akibatnya, sebagian besar sampah masih berakhir di tempat pembuangan sampah, bahkan jika sebagian bisa didaur ulang. Selain masalah infrastruktur, tingkat daur ulang yang rendah juga bisa disebabkan oleh kurangnya kesadaran masyarakat tentang pentingnya daur ulang. Banyak orang perlu lebih banyak informasi tentang cara mendaur ulang dengan benar dan mengapa ini penting. Kurangnya kesadaran ini bisa menyebabkan ketidakpedulian terhadap program-program daur ulang yang ada, sehingga orang cenderung membuang semua sampah ke dalam tong sampah umum tanpa memikirkan akibatnya. Oleh karena itu, pendidikan dan kampanye sosial sangat penting untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang daur ulang.

Pemerintah juga memainkan peran kunci dalam mengatasi tingkat daur ulang yang rendah. Pemerintah dapat mengembangkan kebijakan dan regulasi yang mendukung daur ulang, serta mengalokasikan sumber daya yang cukup untuk membangun infrastruktur daur ulang yang efektif. Program insentif, seperti penghargaan atau potongan pajak untuk perusahaan yang aktif dalam daur ulang, juga dapat mendorong sektor swasta untuk berpartisipasi dalam upaya daur ulang. Kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan organisasi non-pemerintah dapat menjadi solusi efektif dalam meningkatkan tingkat daur ulang. Perusahaan dapat mendukung daur ulang dengan mengadopsi praktik bisnis yang ramah lingkungan dan berinvestasi dalam infrastruktur daur ulang. Organisasi non-pemerintah juga dapat berperan dalam mengedukasi masyarakat tentang pentingnya daur ulang dan membantu dalam pengumpulan dan pengolahan sampah yang

dapat didaur ulang. Penting juga untuk mencari inovasi dalam pengelolaan sampah yang dapat meningkatkan tingkat daur ulang. Teknologi canggih seperti sensor pintar dan perangkat pemisahan otomatis dapat membantu meningkatkan efisiensi dalam proses daur ulang. Dukungan untuk penelitian dan pengembangan dalam bidang praktik pengelolaan sampah yang ramah lingkungan juga dapat membawa perubahan positif dalam pengelolaan sampah perkotaan.

Keterbatasan Sumber Daya

Tantangan utama dalam mengelola sampah perkotaan secara efektif dan berkelanjutan adalah keterbatasan sumber daya, terutama dari segi anggaran. Sebagaimana disoroti oleh Huang et al, (2022), pengelolaan sampah yang baik memerlukan investasi yang signifikan dalam infrastruktur dan peralatan, seperti tempat pembuangan sampah yang aman, fasilitas daur ulang, dan sistem pengangkutan yang efisien. Namun, banyak pemerintah daerah di seluruh dunia menghadapi kendala anggaran yang serius dalam upaya mereka untuk memperbaiki sistem pengelolaan sampah perkotaan. Keterbatasan anggaran ini menghambat kemampuan mereka untuk menyediakan layanan pengelolaan sampah yang memadai dan berkelanjutan bagi masyarakat. Selain keterbatasan anggaran, keterbatasan tenaga kerja juga menjadi masalah dalam pengelolaan sampah perkotaan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Little et al, (2016), pemerintah daerah sering kali kesulitan dalam merekrut dan mempertahankan staf yang berkualifikasi untuk mengelola sistem pengelolaan sampah yang kompleks. Keterbatasan sumber daya manusia ini dapat menghambat upaya perbaikan dan inovasi dalam pengelolaan sampah. Oleh karena itu, solusi yang holistik diperlukan untuk mengatasi tantangan ini, termasuk pemikiran kreatif dalam alokasi anggaran, pelatihan staf yang lebih baik, dan mungkin juga kerjasama dengan sektor swasta untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah perkotaan.

Selain keterbatasan anggaran, keterbatasan tenaga kerja juga menjadi masalah serius. Pengelolaan sampah yang efektif memerlukan staf yang terlatih dan berkualifikasi, termasuk operator fasilitas pemrosesan sampah, petugas pengumpulan sampah, dan staf administrasi. Namun, dalam banyak kasus, pemerintah daerah memerlukan bantuan dalam merekrut dan mempertahankan pekerja yang kompeten untuk operasi pengelolaan sampah. Faktor-faktor seperti upah rendah, kurangnya pelatihan, dan kondisi kerja yang keras sering membuat pekerjaan di sektor pengelolaan sampah menjadi tidak menarik bagi calon pekerja. Akibatnya, pemerintah daerah sering memerlukan bantuan dalam mengatasi kekurangan tenaga kerja, yang dapat menghambat kinerja dan efisiensi dalam pengelolaan sampah perkotaan. Keterbatasan sumber daya juga dapat memengaruhi inovasi dalam pengelolaan sampah. Pengembangan teknologi baru dan metode pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan memerlukan investasi yang substansial dalam penelitian dan pengembangan. Pemerintah daerah dengan anggaran terbatas mungkin memerlukan lebih banyak kapasitas untuk mengadopsi teknologi canggih atau menerapkan praktik terbaik dalam pengelolaan sampah. Akibatnya, mereka mungkin tetap menggunakan rutinitas pengelolaan sampah yang konvensional dan kurang berkelanjutan.

Upaya untuk mengatasi keterbatasan sumber daya dalam pengelolaan sampah perkotaan memerlukan pendekatan yang komprehensif. Pertama-tama, pemerintah daerah harus menjelajahi cara untuk meningkatkan alokasi anggaran untuk sektor pengelolaan sampah, yang dapat melibatkan pencarian sumber pendanaan alternatif atau meningkatkan penggunaan anggaran yang sudah ada dengan lebih efisien. Kerjasama dengan sektor swasta atau organisasi non-pemerintah dalam bentuk kemitraan untuk mendanai proyek-proyek pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan juga bisa bermanfaat. Dalam hal tenaga kerja, perbaikan kondisi kerja dan prospek karier bagi karyawan di sektor pengelolaan sampah menjadi hal yang penting. Ini bisa mencakup peningkatan upah, penyediaan pelatihan yang lebih baik, dan penerapan program insentif untuk mendorong pekerja agar tetap berada

di sektor ini. Pemerintah daerah juga dapat bekerja sama dengan institusi pendidikan dan pelatihan untuk menghasilkan tenaga kerja yang lebih terampil dan terlatih dalam pengelolaan sampah. Selanjutnya, teknologi dan inovasi dalam pengelolaan sampah harus dipromosikan. Pemerintah daerah dapat mencari bantuan dari lembaga penelitian dan sektor swasta untuk mengembangkan solusi pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan melakukannya, keterbatasan sumber daya akan membantu meningkatkan sistem pengelolaan sampah di wilayah perkotaan.

Ketidaksetaraan Akses

Masalah ketidaksetaraan akses ke layanan pengelolaan sampah di lingkungan perkotaan adalah isu sosial yang perlu mendapatkan perhatian lebih serius. Seperti yang telah diungkapkan oleh penelitian yang dilakukan oleh Gutberlet (2017), komunitas miskin dan rentan sering kali menjadi korban utama dari ketidaksetaraan ini, dengan keterbatasan akses ke layanan pengelolaan sampah yang memadai. Selain itu, Gaikwad et al, (2023) menyoroti bahwa lokasi geografis juga menjadi faktor utama dalam ketidaksetaraan akses ini, di mana banyak komunitas miskin terkonsentrasi di daerah-daerah yang terpencil dan kurang mendapatkan perhatian dalam layanan pengelolaan sampah yang efektif. Dalam mengatasi masalah ini, perlu ada upaya yang lebih besar untuk memastikan bahwa layanan pengelolaan sampah mencakup daerah-daerah yang terpinggirkan dan masyarakat yang kurang mampu. Hal ini harus menjadi fokus pemerintah daerah dalam merancang kebijakan dan alokasi sumber daya. Kolaborasi dengan organisasi non-pemerintah dan inisiatif masyarakat juga dapat membantu meningkatkan akses ke layanan pengelolaan sampah di komunitas-komunitas yang membutuhkan. Dengan tindakan bersama, kita dapat mengurangi ketidaksetaraan akses ke layanan pengelolaan sampah dan memberikan perlindungan lingkungan yang lebih baik bagi semua warga kota.

Masalah keuangan juga merupakan faktor signifikan yang berkontribusi pada ketidaksetaraan akses ke layanan pengelolaan sampah. Komunitas miskin seringkali menghadapi kendala keuangan yang serius, sehingga sulit untuk membayar layanan pengelolaan sampah yang ada. Dalam beberapa kasus, layanan pengelolaan sampah dapat memberikan beban signifikan bagi rumah tangga dengan anggaran terbatas. Akibatnya, rumah tangga berpendapatan rendah mungkin memilih untuk tidak menggunakan layanan pengelolaan sampah atau mencari alternatif yang lebih murah, yang dapat memiliki dampak lingkungan yang buruk. Selain disparitas geografis dan keuangan, masalah pendidikan dan kesadaran juga dapat berkontribusi pada ketidaksetaraan akses ke layanan pengelolaan sampah. Komunitas miskin seringkali membutuhkan tingkat pendidikan yang lebih tinggi, yang dapat mempengaruhi pemahaman mereka tentang pentingnya pengelolaan sampah yang benar. Mereka mungkin perlu belajar cara memilah sampah dengan benar, mendaur ulang, atau bahkan mengurangi jumlah sampah yang mereka hasilkan. Kurangnya kesadaran dapat mengakibatkan praktik pengelolaan sampah yang tidak berkelanjutan seperti pembuangan atau pembakaran sampah secara sembarangan.

Dampak dari ketidaksetaraan akses ke layanan pengelolaan sampah sangat serius. Pertama-tama, ini dapat mengakibatkan penumpukan sampah di daerah miskin, yang pada akhirnya dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, menciptakan tempat berkembang biak bagi penyakit, dan memengaruhi kualitas hidup penduduk. Sampah yang dibuang atau dibakar secara ilegal juga dapat menghasilkan emisi berbahaya yang memengaruhi kesehatan masyarakat, terutama anak-anak dan orang tua yang lebih rentan. Selain itu, ketidaksetaraan akses ini dapat memperburuk perubahan iklim karena praktik pengelolaan sampah yang tidak benar dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca yang signifikan.

Pemerintah dan organisasi non-pemerintah memiliki peran kritis dalam mengatasi ketidaksetaraan akses ke layanan pengelolaan sampah. Pertama-tama, mereka harus bekerja sama untuk menyediakan layanan pengelolaan sampah yang memadai bagi daerah-daerah miskin dan rentan, yang

dapat melibatkan pengembangan infrastruktur pengumpulan sampah, pendidikan masyarakat tentang praktik pengelolaan sampah yang benar, dan penyediaan layanan yang terjangkau atau gratis kepada mereka yang membutuhkannya. Pemerintah juga harus memastikan bahwa regulasi yang ada tidak menghambat akses komunitas berpenghasilan rendah ke layanan pengelolaan sampah yang memadai. Selain itu, meningkatkan kesadaran dan pendidikan masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang benar sangat penting. Program pendidikan lingkungan yang ditargetkan kepada komunitas berpenghasilan rendah dapat membantu meningkatkan pemahaman mereka tentang konsekuensi dari praktik pengelolaan sampah yang salah. Memberdayakan komunitas berpenghasilan rendah untuk mengambil langkah-langkah yang lebih berkelanjutan dalam pengelolaan sampah dapat mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan.

Solusi untuk Pengelolaan Sampah Perkotaan yang Berkelanjutan

Untuk mengatasi tantangan-tantangan dalam pengelolaan sampah perkotaan, perlu diterapkan berbagai solusi yang berkelanjutan. Beberapa solusi yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

Peningkatan Kesadaran Masyarakat

Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan sampah perkotaan adalah kunci untuk menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Seperti yang dikemukakan oleh Huang et al, (2022), edukasi dan kampanye yang efektif dapat membantu meningkatkan pemahaman masyarakat tentang dampak lingkungan dan sosial dari masalah sampah. Dengan pemahaman yang lebih baik, masyarakat akan lebih cenderung untuk berpartisipasi dalam praktik pengelolaan sampah yang benar. Selain itu, program edukasi juga dapat membantu masyarakat memahami pentingnya memisahkan sampah, mendaur ulang, dan mengurangi pemborosan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gaikwad et al, (2023), pendidikan merupakan langkah awal yang sangat penting dalam mengubah perilaku masyarakat terkait sampah. Program edukasi dapat memberikan informasi tentang jenis-jenis sampah, cara memisahkan sampah dengan benar, dan dampak negatif dari pembuangan sampah yang salah. Selain itu, program tersebut juga harus mencakup penjelasan tentang proses daur ulang dan manfaatnya bagi lingkungan. Dengan pengetahuan ini, masyarakat dapat lebih efektif dalam memisahkan sampah, mendaur ulang, dan berkontribusi pada pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan.

Kampanye publik juga memiliki peran penting dalam meningkatkan kesadaran masyarakat. Kampanye dapat dilakukan melalui berbagai saluran media, termasuk iklan televisi, siaran radio, media sosial, dan reklame di perkotaan. Pesan-pesan yang jelas dan mudah dimengerti tentang pentingnya pengelolaan sampah yang benar dapat menciptakan kesadaran yang lebih besar di kalangan masyarakat. Kampanye juga dapat mendorong masyarakat untuk aktif berpartisipasi dalam upaya pengelolaan sampah, seperti bergabung dalam program daur ulang di komunitas atau mengurangi penggunaan plastik sekali pakai. Selain dari pendidikan dan kampanye, pemerintah dan pemimpin komunitas juga dapat memberikan contoh yang signifikan dengan aktif menerapkan praktik pengelolaan sampah yang benar. Ketika pemimpin lokal atau tokoh masyarakat terlibat dalam praktik pengelolaan sampah yang baik, mereka dapat menginspirasi orang lain untuk mengikuti jejak mereka. Pemerintah juga dapat memberikan insentif kepada individu yang aktif dalam praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan, seperti memberikan penghargaan atau potongan pajak. Selain itu, penting juga untuk memastikan bahwa infrastruktur yang mendukung pengelolaan sampah yang benar tersedia dan mudah diakses oleh masyarakat. Tempat-tempat pengumpulan sampah yang strategis di berbagai wilayah perkotaan akan membantu masyarakat membuang sampah dengan benar. Fasilitas daur ulang yang memadai juga harus tersedia bagi masyarakat sehingga mereka memiliki opsi untuk mendaur ulang barang-barang daripada membuangnya ke tempat pembuangan sampah.

Mendukung Penelitian dan Pengembangan

Mendukung penelitian dan pengembangan (R&D) dalam bidang pengelolaan sampah merupakan langkah krusial menuju solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Di era modern ini, tantangan pengelolaan sampah semakin kompleks, mengingat volume sampah yang terus meningkat dan dampak lingkungannya yang signifikan. Oleh karena itu, inovasi dalam teknologi pengolahan sampah, serta desain produk yang lebih ramah lingkungan, menjadi sangat penting. Teknologi canggih seperti pengolahan termal, komposting aerobik, dan teknik daur ulang yang inovatif dapat memainkan peran kunci dalam mengurangi volume sampah yang berakhir di TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Selain itu, pengembangan produk yang didesain untuk memudahkan daur ulang atau yang terbuat dari bahan yang dapat terurai secara alami dapat mengurangi beban lingkungan. Produk-produk ini tidak hanya mengurangi kebutuhan akan sumber daya alam baru tetapi juga meminimalkan produksi sampah. Masyarakat harus diberikan informasi yang cukup tentang perkembangan terbaru dalam teknologi dan produk ramah lingkungan ini. Pendidikan publik dan kampanye kesadaran dapat mendorong konsumen untuk memilih produk dan layanan yang mendukung praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Lebih jauh lagi, keterlibatan masyarakat dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan sampah sangat vital. Memberikan akses yang lebih luas kepada masyarakat untuk terlibat dalam diskusi dan keputusan tentang cara pengelolaan sampah dapat meningkatkan rasa kepemilikan dan tanggung jawab terhadap lingkungan. Partisipasi aktif masyarakat dalam program daur ulang, inisiatif pengurangan sampah, dan kegiatan pengelolaan sampah lainnya dapat memperkuat efektivitas sistem pengelolaan sampah secara keseluruhan. Keterlibatan ini juga menciptakan peluang untuk inovasi dari bawah ke atas, di mana solusi lokal dan berbasis komunitas dapat dikembangkan untuk mengatasi tantangan unik dalam pengelolaan sampah di berbagai daerah. Misalnya, program komposting komunitas atau inisiatif pengumpulan sampah elektronik dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik komunitas tertentu, sekaligus mengurangi dampak lingkungan.

Pendekatan holistik dalam mendukung R&D dan mendorong partisipasi masyarakat membutuhkan kerjasama antara pemerintah, industri, lembaga penelitian, dan masyarakat sipil. Pemerintah dapat memainkan peran penting dengan menyediakan dana dan insentif untuk penelitian, serta dengan mengembangkan kebijakan dan standar yang mendukung praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Industri dapat berkontribusi dengan berinvestasi dalam R&D dan mengadopsi model bisnis yang mengutamakan keberlanjutan. Sementara itu, lembaga penelitian dapat fokus pada pengembangan teknologi baru dan peningkatan proses yang ada, dan masyarakat sipil dapat mempromosikan kesadaran dan partisipasi publik.

Dengan demikian, dukungan terhadap penelitian dan pengembangan, bersama dengan keterlibatan masyarakat yang aktif, merupakan kunci untuk mencapai sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien, berkelanjutan, dan inklusif. Upaya bersama ini tidak hanya akan membantu mengurangi dampak lingkungan dari sampah tetapi juga mempromosikan ekonomi sirkular, di mana limbah diminimalkan dan sumber daya digunakan seefisien mungkin.

Peningkatan Daur Ulang

Meningkatkan daur ulang adalah langkah krusial dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan mengurangi dampak negatif sampah terhadap planet. Sebagaimana yang ditekankan oleh Little et al, (2016), daur ulang membantu mengurangi tekanan pada sumber daya alam yang terbatas dengan mengubah sampah menjadi bahan yang dapat digunakan kembali. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Huang et al, (2022) menyoroti bahwa daur ulang juga membantu mengurangi volume sampah yang masuk ke tempat pembuangan sampah, mengurangi risiko pencemaran lingkungan, dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim global. Untuk mencapai

tingkat daur ulang yang lebih tinggi, upaya yang lebih besar perlu dilakukan dalam pengembangan fasilitas daur ulang yang lebih modern dan efisien. Seperti yang dikemukakan oleh Gaikwad et al, (2023), fasilitas daur ulang yang terintegrasi dengan teknologi canggih dapat memproses berbagai jenis bahan sampah, mencakup pemrosesan kertas, plastik, logam, dan kaca. Pemerintah daerah juga perlu memastikan sistem pengumpulan sampah mencakup pemisahan sampah di sumber dan memberikan akses yang mudah ke tempat-tempat pengumpulan yang memadai, seperti yang disarankan oleh Gutberlet (2017). Hal ini memerlukan pendidikan dan kesadaran masyarakat tentang praktik pemisahan sampah yang benar, serta infrastruktur yang mendukung pengumpulan bahan yang dapat didaur ulang.

Dari segi infrastruktur, insentif juga penting untuk mendorong individu dan perusahaan untuk mendaur ulang. Pemerintah daerah dapat memberikan insentif berupa pengurangan pajak atau subsidi kepada perusahaan yang aktif dalam praktik daur ulang. Program-program insentif ini dapat membantu mengurangi biaya operasional perusahaan dan mendorong mereka untuk mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan. Selain itu, program insentif yang ditujukan kepada masyarakat, seperti program imbalan atau diskon untuk mereka yang aktif dalam mendaur ulang, juga dapat membantu meningkatkan partisipasi masyarakat dalam upaya daur ulang. Pendidikan dan kesadaran masyarakat adalah komponen kunci dalam meningkatkan daur ulang. Program edukasi yang efektif dapat membantu masyarakat memahami pentingnya mendaur ulang, cara memisahkan sampah dengan benar, dan kontribusi positifnya terhadap lingkungan. Kampanye sosial dan publik yang informatif dan persuasif juga dapat membantu meningkatkan kesadaran tentang masalah sampah dan pentingnya mendaur ulang.

Kolaborasi antara pemerintah daerah, perusahaan, dan organisasi non-pemerintah juga penting dalam upaya meningkatkan daur ulang. Kolaborasi dapat menciptakan sinergi dalam pengembangan infrastruktur daur ulang, kampanye penyadaran masyarakat, dan implementasi program insentif. Perusahaan dan organisasi non-pemerintah juga dapat membantu pemerintah daerah dalam mengelola fasilitas daur ulang dan mengembangkan solusi inovatif dalam pengelolaan sampah. Selanjutnya, penelitian dan pengembangan dalam pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan dan efisien perlu didorong. Teknologi terbaru dan metode pengelolaan sampah yang ramah lingkungan dapat membantu meningkatkan efisiensi dalam daur ulang dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Investasi dalam penelitian ini dapat membawa manfaat jangka panjang dalam mengatasi masalah sampah di tingkat lokal dan global.

Penggunaan Teknologi Modern

Penggunaan teknologi modern telah membawa perubahan signifikan dalam pengelolaan sampah, dan inovasi terus mendorong efisiensi dalam operasi pengelolaan sampah. Sebagaimana yang dicatat oleh Little et al, (2016), teknologi telah memungkinkan pengembangan sistem pencatatan digital yang menggantikan metode manual, memungkinkan pencatatan yang lebih akurat dan efisien tentang volume, jenis, dan lokasi sampah. Teknologi ini juga memfasilitasi penggunaan aplikasi khusus dan perangkat lunak untuk melacak rute pengumpulan sampah secara lebih efisien. Dengan demikian, data yang terdokumentasi dengan baik dapat membantu pemerintah daerah dan perusahaan pengelolaan sampah dalam mengidentifikasi pola dan tren yang bermanfaat untuk perencanaan dan pengambilan keputusan yang lebih baik. Selain sistem pencatatan digital, pemantauan real-time juga menjadi elemen penting dalam pengelolaan sampah yang terkait dengan teknologi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Huang et al, (2022), teknologi memungkinkan penggunaan sensor dan sistem pemantauan real-time untuk mengidentifikasi masalah dan mendeteksi perubahan dalam operasi pengelolaan sampah dengan cepat. Hal ini memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap masalah seperti tumpahan sampah atau pengumpulan yang terlewatkan. Dengan pemanfaatan teknologi ini, pengelolaan sampah dapat menjadi lebih

efisien dan responsif terhadap perubahan dalam lingkungan perkotaan yang dinamis.

Selain itu, teknologi juga memungkinkan pemantauan real-time terhadap operasi pengelolaan sampah. Sensor dan perangkat canggih dapat dipasang pada kontainer sampah, truk pengumpul sampah, dan fasilitas pengolahan sampah untuk memantau berbagai parameter secara akurat. Informasi dapat disinkronkan ke dalam sistem komputer pusat yang dapat diakses oleh para pengambil keputusan. Dengan demikian, ketika ada masalah atau keadaan darurat, masalah tersebut dapat diidentifikasi dengan cepat dan tindakan yang diperlukan dapat diambil. Misalnya, sensor yang mendeteksi kontainer sampah penuh dapat memicu permintaan pengosongan otomatis, mengurangi kemungkinan kontainer yang meluber sampah ke jalan atau lingkungan. Teknologi juga telah memungkinkan pengembangan sistem manajemen yang lebih cerdas. Sistem pengelolaan sampah terintegrasi dapat memantau seluruh siklus pengumpulan sampah, pemilahan, dan pengolahan secara terpusat. Ini memungkinkan alokasi sumber daya dan tenaga kerja yang lebih efisien. Dengan informasi real-time, operasi dapat dioptimalkan secara dinamis berdasarkan permintaan dan kebutuhan saat ini, yang dapat menghemat biaya dan sumber daya.

Selain manajemen operasional, teknologi juga dapat meningkatkan transparansi dan keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan sampah. Aplikasi seluler dan platform online dapat memberikan informasi tentang jadwal pengumpulan sampah, lokasi tempat pengumpulan sampah terdekat, dan panduan tentang cara menyortir sampah dengan benar. Dengan akses yang lebih mudah ke informasi, masyarakat dapat lebih aktif dalam mendukung praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Mereka juga dapat memberikan umpan balik kepada pemerintah daerah atau perusahaan pengelolaan sampah melalui platform tersebut, yang dapat membantu meningkatkan layanan pengelolaan sampah. Selain teknologi yang menciptakan efisiensi dalam operasional pengelolaan sampah, teknologi juga dapat digunakan dalam pengolahan sampah itu sendiri. Inovasi dalam pengolahan sampah, seperti teknologi pirolisis atau pemisahan bahan berdasarkan cahaya terpancar (spectral imaging), telah memungkinkan pengolahan sampah yang lebih efisien dan pemulihan material yang lebih tinggi. Dengan menggunakan teknologi, sejumlah besar sampah dapat diubah menjadi energi atau material yang dapat digunakan kembali dengan lebih efisien, mengurangi volume sampah yang masuk ke tempat pembuangan sampah.

Meskipun teknologi modern menawarkan banyak manfaat dalam pengelolaan sampah, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah biaya investasi awal yang tinggi. Pengadaan dan implementasi perangkat teknologi canggih dapat memerlukan anggaran yang besar, yang mungkin tidak selalu tersedia bagi pemerintah daerah atau perusahaan yang memiliki sumber daya terbatas. Oleh karena itu, diperlukan strategi investasi yang baik untuk memastikan bahwa teknologi diterapkan dengan bijak dan efisien. Selain itu, pelatihan dan pendidikan bagi personel yang akan menggunakan teknologi juga penting. Mereka perlu memahami bagaimana teknologi tersebut bekerja, cara menangani masalah yang mungkin timbul, dan bagaimana memanfaatkannya sebaik mungkin. Dengan pemahaman yang lebih baik, teknologi dapat dioptimalkan dan memberikan hasil yang lebih baik.

Pengelolaan Sampah Organik

Pengelolaan sampah organik adalah elemen yang sangat penting dalam usaha menjaga keberlanjutan lingkungan dan mengurangi dampak negatif dari pembuangan sampah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Manisalidis et al, (2020), penekanan diberikan pada pentingnya memanfaatkan sampah organik sebagai sumber daya yang berharga, bukan hanya sebagai limbah yang dibuang. Sampah organik, seperti sisa makanan, memiliki potensi besar untuk diubah menjadi biogas melalui proses penguraian anaerobik. Biogas ini dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, yang pada akhirnya dapat mengurangi ketergantungan pada

bahan bakar fosil. Selain menghasilkan biogas, pengelolaan sampah organik yang efektif juga dapat menghasilkan pupuk organik yang berguna untuk pertanian dan pertamanan. Menurut Gaikwad et al, (2023), pupuk organik ini dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi penggunaan pupuk kimia yang berpotensi merusak lingkungan. Dengan demikian, pengelolaan sampah organik tidak hanya membantu mengurangi pembuangan akhir sampah, tetapi juga memberikan manfaat tambahan dalam bentuk energi dan pupuk organik yang berkelanjutan.

Salah satu cara utama dalam pengelolaan sampah organik adalah melalui produksi energi biogas. Proses produksi biogas melibatkan penguraian sampah organik oleh mikroorganisme dalam lingkungan anaerobik (tanpa udara) untuk menghasilkan biogas, yang terutama terdiri dari metana dan karbon dioksida. Biogas dapat digunakan sebagai sumber energi yang dapat menggantikan bahan bakar fosil seperti gas alam atau minyak bumi. Penggunaan biogas sebagai sumber energi dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang terbatas dan berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim. Selain itu, biogas juga dapat digunakan untuk memasok listrik, memanaskan air, atau bahkan sebagai bahan bakar untuk kendaraan. Teknologi modern sangat penting dalam menghasilkan biogas dari sampah organik. Proses produksi biogas melibatkan reaktor biogas yang dikendalikan secara ketat, memastikan kondisi anaerobik yang optimal untuk penguraian sampah organik. Sensor dan teknologi pemantauan real-time memungkinkan pemantauan yang akurat terhadap suhu, pH, dan tingkat keasaman dalam reaktor, yang sangat penting untuk menghasilkan biogas berkualitas tinggi. Teknologi pemantauan juga memungkinkan deteksi masalah dalam proses pencernaan dan tindakan korektif yang cepat.

Selain itu, pengelolaan sampah organik juga dapat melibatkan produksi pupuk organik. Setelah proses pencernaan selesai, hasilnya adalah limbah yang kaya akan nutrisi dan bahan organik. Limbah ini dapat digunakan sebagai pupuk organik alami dan ramah lingkungan. Pupuk organik adalah alternatif yang lebih baik daripada pupuk kimia yang mengandung bahan-bahan berbahaya dan dapat mencemari tanah dan air. Pupuk organik juga membantu meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan mengurangi erosi tanah. Dengan memanfaatkan sampah organik untuk menghasilkan pupuk organik, kita dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang merugikan lingkungan. Pengelolaan sampah organik yang efektif juga dapat membantu mengurangi pembuangan akhir sampah. Ketika sampah organik diolah menjadi biogas atau pupuk organik, volume sampah yang harus dibuang ke tempat pembuangan sampah berkurang secara signifikan. Hal ini memperpanjang usia tempat pembuangan sampah dan mengurangi dampak negatifnya pada lingkungan. Dengan mengurangi volume sampah organik yang berakhir di tempat pembuangan sampah, kita juga mengurangi potensi pencemaran air tanah dan air permukaan oleh zat-zat kimia yang terkandung dalam sampah organik.

Kolaborasi antara Pemerintah dan Swasta

Kolaborasi antara pemerintah daerah dan sektor swasta memainkan peran penting dalam meningkatkan pengelolaan sampah perkotaan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Seperti yang ditekankan oleh Little et al, (2016), sektor swasta dapat membantu mengatasi kendala anggaran dan sumber daya yang sering dihadapi oleh pemerintah daerah dalam operasi pengelolaan sampah. Dalam hal ini, perusahaan swasta dapat berinvestasi dalam infrastruktur yang diperlukan untuk pengelolaan sampah yang lebih baik, seperti fasilitas daur ulang dan tempat pembuangan sampah yang modern. Selain itu, sektor swasta juga dapat membawa inovasi teknologi yang diperlukan dalam pengelolaan sampah. Sebagaimana yang dicatat oleh Huang et al, (2022), teknologi modern seperti sensor dan sistem pemantauan real-time dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan dan pemrosesan sampah. Kolaborasi dengan perusahaan swasta dapat memungkinkan pemerintah daerah untuk memanfaatkan teknologi canggih ini tanpa harus mengalokasikan anggaran besar. Dengan demikian, kolaborasi antara

pemerintah dan sektor swasta dapat menciptakan solusi holistik untuk pengelolaan sampah yang lebih baik dan berkelanjutan.

Dalam situasi seperti itu, perusahaan swasta dapat berinvestasi dalam proyek-proyek pengelolaan sampah sebagai bagian dari kemitraan dengan pemerintah. Investasi ini dapat membantu menciptakan fasilitas pengelolaan sampah yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selain dari berinvestasi dalam infrastruktur, perusahaan swasta juga dapat membawa pengetahuan dan pengalaman berharga dalam pengembangan teknologi dan praktik terbaik dalam pengelolaan sampah. Mereka dapat membantu mengidentifikasi solusi inovatif untuk tantangan pengelolaan sampah dan membantu pemerintah daerah dalam menerapkannya. Sebagai contoh, teknologi modern dalam pemantauan dan manajemen sampah dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan sampah dan pemilahan di sumber. Sebagai mitra dalam proyek-proyek ini, perusahaan swasta dapat membantu pemerintah daerah mengembangkan rencana strategis yang komprehensif untuk pengelolaan sampah yang lebih baik. Kolaborasi antara pemerintah dan sektor swasta juga dapat menciptakan program insentif yang lebih efektif untuk mendorong partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Dengan dukungan perusahaan swasta, pemerintah daerah dapat mengembangkan program insentif seperti penghargaan atau potongan pajak bagi individu atau bisnis yang aktif dalam praktik pengelolaan sampah yang bertanggung jawab. Insentif-insentif ini dapat membantu meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik dan mendorong lebih banyak partisipasi dalam praktik daur ulang dan pengurangan sampah.

Selain manfaat praktis, kolaborasi antara pemerintah dan sektor swasta juga dapat memberikan manfaat ekonomi bagi kedua belah pihak. Pemerintah daerah dapat memperoleh pendapatan tambahan dari investasi dan layanan yang diberikan oleh perusahaan swasta. Di sisi lain, perusahaan swasta dapat melihat peluang bisnis dalam pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan kolaborasi yang efektif, kedua belah pihak dapat mencapai tujuan mereka dengan lebih baik. Namun, dalam kolaborasi semacam ini, harus ada kerangka kerja hukum dan regulasi yang jelas untuk mengatur peran masing-masing pihak dan melindungi kepentingan publik. Ini mungkin melibatkan penyusunan perjanjian kemitraan yang kuat yang menguraikan komitmen dan tanggung jawab masing-masing pihak, serta mekanisme penyelesaian sengketa jika diperlukan. Regulasi juga harus memastikan bahwa pengelolaan sampah tetap berada di bawah kendali pemerintah daerah dan bahwa tujuan lingkungan dan sosial tetap menjadi prioritas.

Pengembangan Tempat Pembuangan Akhir yang Tepat

Pengembangan tempat pembuangan akhir yang mematuhi standar lingkungan yang ketat adalah aspek kritis dalam pengelolaan sampah perkotaan, seperti yang ditegaskan oleh penelitian yang dilakukan oleh Huang et al, (2022). Standar lingkungan tersebut mencakup berbagai persyaratan yang harus dipenuhi untuk mencegah pencemaran lingkungan, termasuk air tanah, udara, dan tanah di sekitar lokasi pembuangan. Tempat pembuangan akhir yang baik dirancang dengan teliti untuk menghindari dampak negatif seperti pencemaran oleh sampah beracun atau bahan berbahaya terhadap ekosistem dan sumber daya alam. Selain memenuhi standar lingkungan, penting untuk memastikan bahwa tempat pembuangan akhir yang tepat memiliki sistem pengendalian emisi gas berbahaya seperti metana. Seperti yang disorot oleh Little et al, (2016), metana merupakan gas rumah kaca yang sangat berpotensi merusak lingkungan dan dapat berkontribusi pada perubahan iklim global. Oleh karena itu, sistem yang efektif untuk menangkap dan memproses metana harus menjadi bagian integral dari desain tempat pembuangan akhir yang baik. Hal ini dapat melibatkan penggunaan teknologi pemantauan dan perangkat untuk mengukur dan mengendalikan emisi metana yang keluar dari tempat pembuangan akhir, sehingga mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan.

Selain mematuhi standar lingkungan, pemantauan dan perawatan yang baik sangat penting untuk menjaga kualitas tempat pembuangan akhir. Tempat pembuangan akhir yang dikelola dengan baik memerlukan pemantauan yang konstan untuk memastikan bahwa kondisi di lapangan tetap terkendali dan aman. Ini termasuk memantau sistem penutupan yang mencegah air hujan masuk dan mencemari sampah di dalamnya. Sistem ini juga dapat mencegah pencemaran air tanah karena air hujan meresap ke dalam tempat pembuangan akhir. Pemantauan dan perawatan yang baik juga mencakup pemantauan kualitas air dalam sistem pengumpulan tumpahan yang digunakan untuk mengolah air yang mengalir melalui sampah di dalam tempat pembuangan akhir. Pemantauan kualitas air memastikan bahwa air yang mengalir keluar dari tempat pembuangan akhir tidak mengandung kontaminan berbahaya yang dapat mencemari lingkungan. Dalam beberapa kasus, teknologi pengolahan air tambahan mungkin diperlukan untuk menghilangkan kontaminan dari air yang mengalir keluar.

Selain dari aspek teknis, pengelolaan tempat pembuangan akhir juga melibatkan perawatan fisik dan operasional yang baik, termasuk pemeliharaan infrastruktur seperti selokan, dinding penahan, dan sistem pengelolaan gas. Pemeliharaan diperlukan untuk mencegah kerusakan yang dapat mengakibatkan pencemaran atau bahkan kecelakaan. Penting juga untuk melibatkan komunitas setempat dalam pemantauan dan perawatan tempat pembuangan akhir. Komunitas yang tinggal di sekitar tempat pembuangan akhir harus diberi informasi tentang praktik pengelolaan sampah yang aman dan berkelanjutan. Mereka juga harus memiliki akses ke mekanisme pengaduan jika mereka melihat masalah atau pencemaran yang terkait dengan tempat pembuangan akhir. Dalam mengembangkan tempat pembuangan akhir yang mematuhi standar lingkungan, penting juga untuk mempertimbangkan aspek jangka panjang, termasuk rencana untuk memantau dan merawat tempat pembuangan akhir setelah masa aktifnya berakhir. Pemantauan dan perawatan jangka panjang sangat penting untuk memastikan bahwa tempat pembuangan akhir tidak menimbulkan masalah pencemaran pada masa mendatang.

KESIMPULAN

Pengelolaan sampah perkotaan adalah isu penting dan kompleks yang dihadapi oleh banyak kota di seluruh dunia. Tantangan-tantangan dalam pengelolaan sampah perkotaan, seperti peningkatan volume sampah, pencemaran lingkungan, dan tingkat daur ulang yang rendah, memerlukan solusi yang berkelanjutan. Meningkatkan kesadaran masyarakat, menggunakan teknologi modern, mengembangkan tempat pembuangan akhir yang sesuai, dan berkolaborasi dengan pemerintah dan sektor swasta adalah beberapa langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan pengelolaan sampah perkotaan. Pengelolaan sampah perkotaan yang efektif dapat memiliki dampak positif tidak hanya pada lingkungan, tetapi juga pada kesehatan masyarakat dan keberlanjutan masa depan kota-kota. Oleh karena itu, diperlukan upaya bersama dari semua pihak untuk mengatasi masalah ini dan menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih bersih dan sehat.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullahi, Y. R., & Polytechnic, K. (2017). Community based solid waste management strategy: A case study of Kaduna metropolis. Sustainable Development and Planning, 210(December 2016). https://doi.org/10.2495/SDP160641

Adelina, C., & Archer, D. (2024). A situated urban political ecology of plastics recycling in Bangkok. Cities, 145, 104671. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104671

Batista, M. G., Gusmão, C., Caiado, R., Quelhas, O. L. G., Lima, G. A., Filho, W. L., & Rocha, Y. I. T. (2021). A framework for sustainable and integrated municipal solid waste management: Barriers and critical factors to developing countries. Journal of Cleaner Production, 312, 127516. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.12

7516

Gaikwad, A., Titirmare, N., & Margal, P. (2023). Soil pollution and environmental health. In Soil Pollution and Environmental Health (pp. 267–307). https://doi.org/10.5281/zenodo.8331094

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3(7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. Waste Management, 29(8), 2227–2239. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.028

Gutberlet, J. (2017). Waste in the city: Challenges and opportunities for urban agglomerations. In M. Ergen (Ed.), Urban Agglomeration. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.72047

Huang, S., Wang, H., Ahmad, W., Ahmad, A., Vatin, N. I., Mohamed, A. M., ... & Mehmood, I. (2022). Plastic waste management strategies and their environmental aspects: A scientometric analysis and comprehensive review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(8). https://doi.org/10.3390/ijerph19084556

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. Science, 347(6223), 768–771. https://doi.org/10.1126/science.1260352

Kanwal, Q., Zeng, X., & Li, J. (2023). Measuring the recycling potential of industrial waste for long-term sustainability. Humanities and Social Sciences Communications, 10(1), 471. https://doi.org/10.1057/s41599-023-01942-1

Khosravani, F., Abbasi, E., Choobchian, S., & Jalili Ghazizade, M. (2023). A comprehensive study on criteria of sustainable urban waste management system: Using content analysis. Scientific Reports, 13(1), 22526. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49187-x

Little, J. C., Hester, E. T., & Carey, C. C. (2016). Assessing and enhancing environmental sustainability: A conceptual review. Environmental Science & Technology, 50(5), 1-32. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00298

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. Frontiers in Public Health, 8, 14. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014

Sharma, H. B., Vanapalli, K. R., Samal, B., Cheela, V. R. S., Dubey, B. K., & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. Science of The Total Environment, 800, 149605. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605

Suruliraj, B., Nkwo, M., & Orji, R. (2020). Persuasive mobile apps for sustainable waste management: A systematic review. In Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45712-9

Oteng-Ababio, M., Raju, A. A., & Bourtsalas, A. (2018). Urban solid waste management. ARC3.2 Climate Change and Cities, 9(1), 210-230. https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.01.007

Phelan, A. (A.), Meissner, K., Humphrey, J., & Ross, H. (2022). Plastic pollution and packaging: Corporate commitments and actions from the food and beverage sector. Journal of Cleaner Production, 331, 129827. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129827

Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K.-H., & Kumar, S. (2021). E-waste management and its effects on the environment and human health. Science of The Total Environment, 773, 145623. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.

145623
UN-Habitat. (2018). Annual Progress Report 2018. United Nations Human Settlements Programme. https://unhabitat.org/annual-progress-report-2018
UNEP. (2022). Global Guidelines for Sustainable Urban Waste Management. United Nations Environment Programme. https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook
UNESCO. (2021). World Population Prospects 2019: Highlights. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. https://www.un.org/en/desa/world-population-prospects-2019-highlights
World Bank. (2022). Solid Waste Management. The World Bank IBRD-IDA. https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management
Xocaira Paes, M., & de Oliveira, J. (2021). Integrated management of municipal solid waste in Brazil: A case study in São Paulo City. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1196(1), 012004. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1196/1/012004
Yongming, H., Chen, C., Lei, L., & Zhang, Y. (2022). Impacts of green finance on green innovation: A spatial and nonlinear perspective. Journal of Cleaner Production, 3(7), 1-14. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:249304425
Zhou, C., Huang, N., Yang, G., & Ma, S. (2022). Assessing the sustainability of municipal solid waste management in China, 1980-2019. Sustainable Horizons, 2, 100020. https://doi.org/10.1016/j.horiz.2022.100020