

Pengembangan Model Teknologi Blockchain untuk Meningkatkan Transparansi Pengelolaan Sampah

Inayatulloh^a

^aSchool of Information System, Information System Department, Bina Nusantara University, inay@binus.ac.id

Submitted: 17-05-2024, Reviewed: 28-05-2024, Accepted 20-06-2024
<https://doi.org/10.47233/jteksis.v6i3.1396>

Abstract

Waste management is a series of activities involving the collection, transportation, processing, and recycling of waste materials. The aim of waste management is to reduce the negative impact of waste on the environment and humans. This process includes sorting waste types and applying the principles of reduction, reuse, recycling, and handling according to the characteristics of each type of waste. The problem with the current waste management mechanism is that there is no transparency regarding the origin of the waste, distribution channels, or movement from the waste source to the waste recycling management site. The collected waste cannot be transparently detected at its source and distribution channels. The current conventional waste management system only provides waste processing reports to stakeholders without any guarantee of the validity and transparency of the information. Therefore, the aim of this research is to increase the transparency of waste management using blockchain technology. Blockchain technology can provide a high level of transparency in waste management by using peer-to-peer validation from every stakeholder involved in waste management. Transaction. Waste management can be stored on the blockchain network if all stakeholders validate the transaction. This mechanism ensures that the information stored is valid. Blockchain technology in waste management provides data security with the immutable concept of blockchain technology. The research method uses a qualitative approach by studying waste management, the parties involved in waste management, and blockchain technology. The result of this research is a waste management adoption model using blockchain technology and simulations with the Ganache Blockchain Framework.

Keywords: waste management, blockchain, transparency.

Abstrak

Pengelolaan sampah adalah serangkaian kegiatan yang melibatkan pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan daur ulang bahan sampah. Tujuan pengelolaan sampah adalah untuk mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan dan manusia. Proses ini meliputi pemilahan jenis sampah, penerapan prinsip pengurangan, penggunaan kembali, daur ulang, dan penanganan sesuai dengan karakteristik masing-masing jenis sampah. Permasalahan dalam mekanisme pengelolaan sampah yang ada saat ini adalah tidak adanya transparansi mengenai asal usul sampah, jalur distribusi, maupun perpindahan dari sumber sampah ke tempat pengelolaan daur ulang sampah. Sampah yang terkumpul tidak dapat dideteksi secara transparan sumber dan saluran distribusinya. Sistem konvensional pengelolaan sampah yang ada saat ini hanya memberikan laporan pengolahan sampah kepada stakeholder tanpa ada jaminan validitas dan transparansi informasi. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan transparansi pengelolaan sampah dengan menggunakan teknologi blockchain. Teknologi Blockchain dapat memberikan transparansi tingkat tinggi dalam pengelolaan sampah dengan menggunakan validasi peer-to-peer dari setiap pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengelolaan sampah. Transaksi. Pengelolaan sampah bisa disimpan pada jaringan blockchain jika semua stakeholder memvalidasi transaksi tersebut. Mekanisme inilah yang menjamin informasi yang disimpan valid. Teknologi blockchain dalam pengelolaan sampah memberikan keamanan data dengan konsep teknologi blockchain yang tidak dapat diubah. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan mempelajari pengelolaan sampah, pihak-pihak yang terlibat dalam pengelolaan sampah, dan teknologi blockchain. Hasil dari penelitian ini adalah model adopsi pengelolaan sampah menggunakan teknologi blockchain dan simulasi dengan Ganache Blockchain Framework.

Kata Kunci: pengelolaan sampah, blockchain, transparansi

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



PENDAHULUAN

Sampah merupakan sisa sampah suatu produk yang sudah tidak terpakai lagi namun masih dapat didaur ulang menjadi barang berharga [1][2]. Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari sisa-sisa makhluk hidup dan mudah terurai secara alami tanpa campur tangan manusia [3]. Sampah organik merupakan sampah ramah lingkungan yang dapat diolah kembali menjadi sesuatu yang bermanfaat [4]. Sampah anorganik

merupakan sampah yang sudah tidak dimanfaatkan lagi dan sulit terurai. Sampah anorganik yang tertimbun dalam tanah dapat menyebabkan pencemaran tanah karena sampah anorganik tergolong zat yang sulit terurai dan akan tertimbun dalam tanah dalam jangka waktu yang lama sehingga berdampak pada rusaknya lapisan tanah. Pengelolaan sampah yang buruk dapat berdampak pada bencana banjir[5]

Pengelolaan sampah adalah serangkaian kegiatan yang melibatkan pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan daur ulang bahan sampah [6][7]. Tujuan pengelolaan sampah adalah untuk mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan dan manusia[8][9]. Proses ini meliputi pemilahan jenis sampah, penerapan prinsip pengurangan, penggunaan kembali, daur ulang, dan penanganan sesuai dengan karakteristik masing-masing jenis sampah.[10].

Permasalahan dalam mekanisme pengelolaan sampah yang ada saat ini adalah tidak adanya transparansi mengenai asal usul sampah, jalur distribusi, maupun perpindahan dari sumber sampah ke tempat pengelolaan daur ulang sampah. Sampah yang terkumpul tidak dapat dideteksi secara transparan sumber dan saluran distribusinya [11]. Sumber sampah yang tidak memisahkan jenis sampah berdasarkan kategori sampah tidak dapat terdeteksi. Mencampur limbah ramah lingkungan dengan limbah beracun dapat merusak lingkungan. Volume sampah yang melebihi batas maksimal dari satu sumber sampah dapat meningkatkan biaya pengelolaan sampah. Sehingga diperlukan suatu mekanisme yang dapat memberikan transparansi transaksi dalam pengelolaan sampah[12].

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan transparansi pengelolaan sampah dengan menggunakan teknologi blockchain. Teknologi Blockchain dapat memberikan transparansi tingkat tinggi dalam pengelolaan sampah dengan menggunakan validasi peer-to-peer dari setiap pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengelolaan sampah. Teknologi blockchain dalam pengelolaan sampah memberikan keamanan data dengan konsep teknologi blockchain yang tidak dapat diubah. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan mempelajari pengelolaan sampah, pihak-pihak yang terlibat dalam pengelolaan sampah, dan teknologi blockchain. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah model adopsi pengelolaan sampah dengan menggunakan teknologi blockchain.

Makalah ini terdiri dari beberapa bagian. Bagian pertama menjelaskan fenomena pengelolaan sampah dan permasalahan yang bermula dari mekanisme pengelolaan sampah konvensional. Bagian kedua menjelaskan pengelolaan sampah, pihak-pihak yang terlibat dalam pengelolaan sampah, dan teknologi blockchain sebagai solusi alternatif pengelolaan sampah. Bagian ketiga menjelaskan metode penelitian. Bagian keempat menjelaskan hasil penelitian berupa model adopsi teknologi blockchain untuk pengelolaan sampah dan contoh simulasi datanya. Bagian terakhir menyajikan kesimpulan penelitian.

2.1. Manajemen Sampah

Gambar 1 menjelaskan mekanisme pengelolaan sampah [13]. Prosesnya dimulai dari sumber sampah, yang disimpan pada tempat penyimpanan yang telah disediakan. Sumber sampah bisa bermacam-macam, seperti sampah rumah tangga, rumah sakit, industri, dan lain-lain. Sampah dikumpulkan di tempat pengumpulan sampah sementara.

Dari tempat pembuangan sampah sementara, sampah akan dipisahkan dan diolah berdasarkan kategori yang berbeda, seperti sampah organik, non-organik, medis, dan lain-lain. Produk limbah yang diolah akan didistribusikan berdasarkan pihak-pihak yang membutuhkan.



Gambar.1 Mekanisme Pengelolaan Sampah (Mas 2022)

2.2. Stakeholder Manajemen Sampah

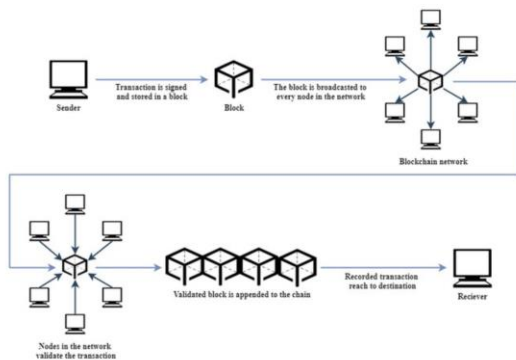
Pengelolaan sampah melibatkan banyak pihak. Pihak pertama adalah pemerintah. Pemerintah mempunyai tanggung jawab terhadap pengelolaan sampah, termasuk pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah lainnya[14]. Pemerintah pusat dan daerah berperan dalam merumuskan kebijakan dan mengelola infrastruktur pengelolaan sampah. Pihak kedua adalah pihak swasta yang mewakili pelaku industri dan dunia usaha. Pihak swasta, termasuk industri dan dunia usaha, berperan dalam pengelolaan sampah yang dihasilkan[15]. Mereka dapat menerapkan praktik ramah lingkungan dan daur ulang. Pihak ketiga adalah masyarakat. Peran aktif masyarakat sangat penting dalam pemilahan sampah, pengelolaan sampah rumah tangga, dan partisipasi dalam program daur ulang[16][17]. Kesadaran masyarakat memegang peranan penting dalam keberhasilan pengelolaan sampah. Pihak keempat adalah pengolah sampah, dan pihak terakhir adalah organisasi lingkungan hidup[18][19].

2.3. Teknologi Blockchain

Teknologi Blockchain merupakan teknologi baru yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan teknologi sebelumnya. Proses penyimpanan terpusat adalah metode konvensional dari teknologi penyimpanan saat ini. Namun penyimpanan terpusat mempunyai risiko tinggi jika terjadi kerusakan pada

lokasi penyimpanan terpusat. Teknologi Blockchain menciptakan inovasi baru dengan menawarkan penyimpanan terdesentralisasi pada setiap node di blockchain[20].

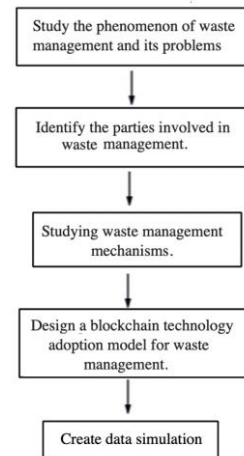
Teknologi Blockchain juga memiliki keunggulan pada konsep validasi peer-to-peer yang belum ada pada teknologi sebelumnya. Proses validasi pada sistem konvensional dilakukan pada sistem terpusat yang mempunyai banyak kelemahan. Teknologi Blockchain menggunakan konsep validasi peer-to-peer, dimana setiap node dalam jaringan blockchain akan memvalidasi setiap transaksi yang akan disimpan dalam jaringan blockchain. Gambar 2 menjelaskan mekanisme blockchain[21]



Gambar 2. Mekanisme Blockchain (Ucbas 2023)

METODE RISET

Gambar 3 menunjukkan metode penelitian. Tahap awal penelitian adalah mempelajari fenomena pengelolaan sampah dan permasalahannya. Tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi pihak-pihak yang terlibat dalam pengelolaan sampah. Tahap penelitian dilanjutkan dengan mempelajari mekanisme pengelolaan sampah. Tahap selanjutnya adalah merancang model adopsi teknologi blockchain untuk pengelolaan sampah.



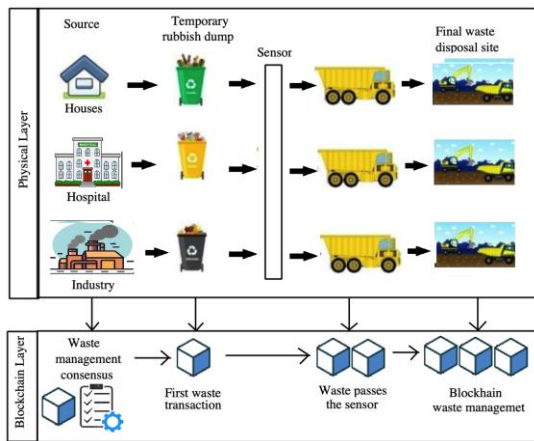
Gambar 3. Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menjelaskan model transaksi dengan pembagian menjadi dua lapisan yaitu lapisan fisik dan lapisan blockchain. Blok 1 pada Gambar 4 merupakan informasi mengenai konsensus pengelolaan sampah. Konsensus tersebut berisi kesepakatan mengenai jenis sampah yang akan dibuang dan volume maksimal sampah yang boleh dikirim ke TPA.

Transaksi awal ketika sampah disimpan di tempat pengumpulan sampah sementara. Setelah sampah terkumpul dalam jangka waktu tertentu, sampah tersebut akan dibuang ke tempat sampah akhir. Sampah yang akan dibuang di tempat pembuangan akhir akan melewati perangkat sensor untuk memilih jenis sampah dan berat sampah yang akan dikirim.

Proses pemilihan sampah akan menghasilkan dua kemungkinan. Jika jenis sampah dan berat sampah tidak sesuai dengan kesepakatan dalam smart contract, maka sensor akan memberikan sinyal menolak persetujuan untuk mengirim sampah ke tahap berikutnya. Namun jika jenis sampah dan berat sampah sesuai dengan kesepakatan bersama, maka sensor akan memberikan sinyal yang menandakan sampah dapat dikirim ke tempat pembuangan akhir sampah.



Gambar 4. Lapisan Fisik dan Lapisan Blockchain

Gambar 5 menjelaskan model yang diusulkan. Bagian atas model adalah proses registrasi seluruh pemangku kepentingan pengelolaan sampah ke dalam blok-blok. Blok 1 untuk industri atau dunia usaha. Data pada Blok 1 akan menjelaskan jenis industri dan limbah yang dihasilkan. Dari blok 1 Anda akan mengetahui jenis sampah apa saja yang berbahaya bagi manusia, lingkungan, atau sebaliknya.

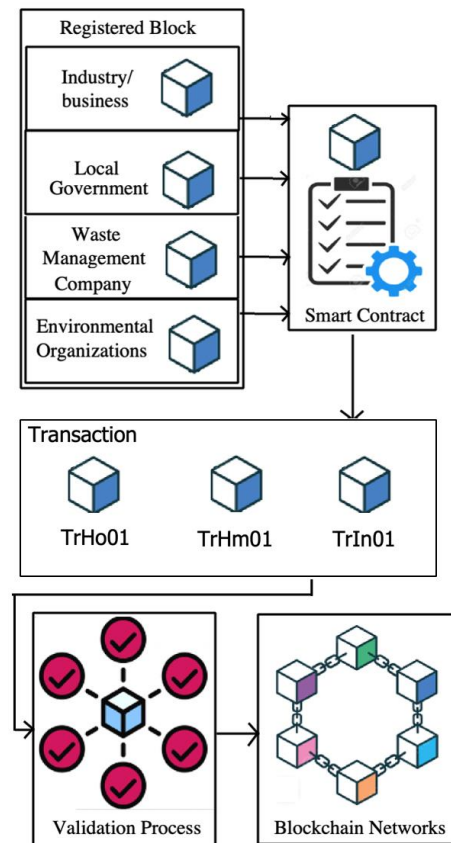
Blok 2 untuk pemerintah daerah. Pengelolaan sampah rumah tangga merupakan tanggung jawab pemerintah daerah. Rekomendasi kepada masyarakat untuk memilah sampah rumah tangga berdasarkan beberapa kategori seperti organik dan anorganik dilakukan oleh pemerintah daerah.

Blok 3 diperuntukkan bagi pengelola pembuangan limbah. Pengelola pembuangan sampah adalah perusahaan yang menyediakan tempat pembuangan sampah sementara, tempat pembuangan akhir sampah, dan kendaraan pengantar sampah. Blok 4 diperuntukkan bagi organisasi pelestarian lingkungan. Organisasi ini akan mengawasi pembuangan limbah dengan mempertimbangkan kelestarian lingkungan.

Bagian kedua dari model ini adalah kontrak pintar, yang berisi perjanjian pengelolaan limbah. Jika pada blok 1 hingga 4, setiap entitas akan menyimpan datanya di blok tersebut, seperti data jenis industri, jenis limbah, dan volume pembuangan limbah per periode tertentu, maka smart contract tersebut akan berisi kesepakatan bersama mengenai pengelolaan limbah.

Bagian ketiga dari model adalah proses validasi yang menggunakan konsep validasi peer-to-peer. Misalnya, ketika transaksi pembuangan limbah rumah sakit melebihi batas pengiriman

harian, semua node di jaringan blockchain akan mengetahuinya dan menolak untuk memvalidasi transaksi tersebut. Namun jika pengiriman limbah rumah sakit sesuai dengan Perjanjian Bersama, maka semua node akan memvalidasi transaksi tersebut, dan informasinya akan disimpan di jaringan blockchain seperti yang digambarkan pada bagian keempat dari model ini.



Gambar 5. Model yang Diusulkan

Tabel 1 menjelaskan contoh simulasi menggunakan teknologi blockchain. Pada blok 1 dengan kode transaksi TrHo01. Transaksi ini memiliki nonce 22731, hash transaksi 1d168112d7b19acca81d85e1f21ef71de2f34f98b c7a9c33a3f82fe34510de16 dan nilai blok 00001cc815bdbb703790e314eff7dc4778345386 17ff1f62f 4aa80d0e301467c.

Selanjutnya blok 2 dengan kode TrHm01 dengan nonce 33764, hash transaksi dan nomor blok 00009089779adf5 eef835888522c1722a7093c12667d2e8fe69a0d33 82fdc0bd. Blok 3 dengan kode TrIn01 dengan nonce 66788, hash transaksi 96c97bf1eb36a62b58a9edaab911c426e59fe62e4 3a603d5ee643ce7e6c01dd5 dan nomor blok

00008ae3bb19f9f87332425d4da1f732601014a15e5ed52b710c726684819229.

Seluruh transaksi akan melalui proses validasi peer-to-peer oleh seluruh node di jaringan blockchain. Contoh informasi perjanjian limbah adalah Rumah Sakit hanya boleh membuang limbah jenis masker yang telah melalui proses awal pengolahan limbah di lokasi yang bersangkutan agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Apabila limbah yang dibuang oleh pihak rumah sakit tidak sesuai dengan ketentuan yang ada dan tidak lolos sensor pembuangan limbah maka transaksi akan ditolak. Koneksi antara blok 1 dan blok 2 dilakukan melalui nomor blok. Nomor blok dari blok 1 akan menjadi nomor blok sebelumnya di blok 2.

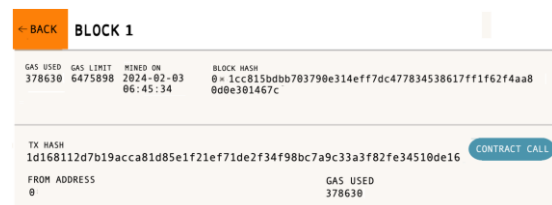
Blok 2 dengan kode transaksi TrHm01 merupakan transaksi pembuangan sampah masyarakat dalam satu kawasan dengan nilai nonce 20283 dan nilai blok 00005f5250fea361d1f2686ea5abfb2b07f5f25db481f095fdb07f394e950863. Informasi kesepakatan volume sampah yang dibuang untuk sampah rumah tangga, maksimal 1 ton per hari. Jika volume maksimal sampah rumah tangga melebihi batas 1 ton yang diukur menggunakan sensor berat, maka transaksi akan ditolak dan berlaku sebaliknya. Koneksi antara blok 2 dan blok 3 adalah melalui nomor blok. Nomor blok dari blok 2 akan menjadi nomor blok sebelumnya di blok 3.

Blok 3 dengan kode transaksi TrIn01 merupakan transaksi industri garmen dengan nonce 66788 dan nomor blok 00008ae3bb19f9f87332425d4da1f732601014a15e5ed52b710c726684819229. Industri garmen dicirikan oleh limbah kain yang tidak ramah lingkungan namun mempunyai potensi untuk didaur ulang sehingga bernilai ekonomi tinggi. Pada saat melewati alat sensor pendeteksi sampah, ketentuan jenis sampah yang boleh dibuang ke tempat pembuangan sampah umum harus dipatuhi. Jika limbah industri membuang limbah kain, maka sensor akan memberikan sinyal yang akan digunakan oleh pemangku kepentingan lainnya untuk menolak transaksi limbah kain dari industri garmen. Koneksi antara blok 4 dan blok 3 adalah melalui nomor blok. Nomor blok dari blok 3 akan menjadi nomor blok sebelumnya di blok 4.

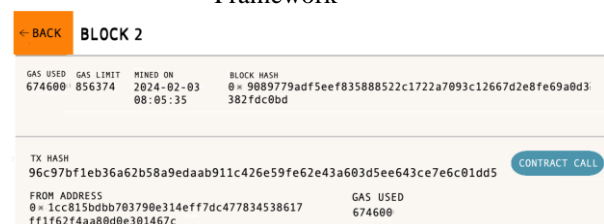
Blok	Transaksi	Nonce	Block Sebelumnya	Nilai Block
1	Kode transaction: TrHo01 Hash transaksi:	33764	-	00009089779adf5ef835888522c1722a7093c12667d2e8fe69a0d3382fdc0bd.

2	Code transaction: TrHm01	20283	00009089779adf5ef835888522c1722a7093c12667d2e8fe69a0d3382fdc0bd	00009089779adf5ef835888522c1722a7093c12667d2e8fe69a0d3382fdc0bd
3	Kode transaksi: TrIn01	66788	00009089779adf5ef835888522c1722a7093c12667d2e8fe69a0d3382fdc0bd	00008ae3bb19f9f87332425d4da1f732601014a15e5ed52b710c726684819229

Gambar 6 hingga 9 menampilkan data simulasi dari blok 1 hingga blok 4. Setiap blok menampilkan informasi hash blok, hash transaksi, gas yang digunakan, batas gas, dan penambangan. Hubungan antar blok dapat dilihat pada hash blok dan "dari alamat". Dimana "from address" adalah nilai blok sebelumnya. Sedangkan gambar 10 menampilkan ringkasan transaksi dari blok 0 hingga blok 4.



Gambar 6. Transaksi di Blok 1 dengan Ganache Framework



Gambar 7. Transaksi di Blok 2 dengan Ganache Framework



Gambar 8. Transaksi di Blok 3 dengan Ganache Framework

CURRENT BLOCK	GAS PRICE	GAS LIMIT	HARDWARE	NETWORK ID	RPC SERVER	MINEING STATUS	WORKSPACE	SETTINGS
BLOCK 4	200000000	6722775	HW0000000000	9777	HTTP://127.0.0.1:7540	STOPPED	WORKSPACE	SETTINGS
BLOCK 3								
BLOCK 2								
BLOCK 1								
BLOCK 0								

Gambar 10. Summary Transaksi dengan Ganache Framework

KESIMPULAN

Pengelolaan sampah konvensional mempunyai banyak permasalahan. Kesadaran masyarakat untuk tidak memilah sampah membuat proses daur ulang sampah menjadi sulit. Lalu, pelanggaran industri yang membuang limbah berbahaya bagi lingkungan. Kedua permasalahan tersebut disebabkan oleh kurangnya transparansi dalam proses pengolahan sampah. Dengan mengadopsi teknologi blockchain yang menawarkan transparansi dengan validasi peer-to-peer, memastikan seluruh transaksi pembuangan limbah dapat dikontrol sesuai dengan standar kesehatan dan kelestarian lingkungan.

REFERENCE

- [1] B. R. Rajasa and RR. H. P. Sejati, "Rancang Bangun Sistem Aplikasi Bank Sampah Online Berbasis Android Di Bank Sampah Lintas Winongo," *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, vol. 6, no. 2, pp. 400–409, Apr. 2024, doi: 10.47233/jteksis.v6i2.1315.
- [2] M. G. Davidson, R. A. Furlong, and M. C. McManus, "Developments in the life cycle assessment of chemical recycling of plastic waste – A review," *J Clean Prod*, vol. 293, p. 126163, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126163.
- [3] S. Maji, D. H. Dwivedi, N. Singh, S. Kishor, and M. Gond, "Agricultural Waste: Its Impact on Environment and Management Approaches," 2020, pp. 329–351. doi: 10.1007/978-981-15-1390-9_15.
- [4] V. Ashokkumar *et al.*, "Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective," *Fuel*, vol. 324, p. 124313, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2022.124313.

- [5] Muhammad Rega Alfiano Setiawan, "Prototipe deteksi banjir menggunakan sensor ultrasonik, dan water level sensor dengan notifikasi blynk," *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, vol. 4, no. 2, Jun. 2022.
- [6] S. Khan, R. Anjum, S. T. Raza, N. Ahmed Bazai, and M. Ihtisham, "Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives," *Chemosphere*, vol. 288, p. 132403, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132403.
- [7] N. Silva de Souza Lima Cano, E. Iacovidou, and E. W. Rutkowski, "Typology of municipal solid waste recycling value chains: A global perspective," *J Clean Prod*, vol. 336, p. 130386, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130386.
- [8] R. Rautela, S. Arya, S. Vishwakarma, J. Lee, K.-H. Kim, and S. Kumar, "E-waste management and its effects on the environment and human health," *Science of The Total Environment*, vol. 773, p. 145623, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145623.
- [9] I. R. Abubakar *et al.*, "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 19, p. 12717, Oct. 2022, doi: 10.3390/ijerph191912717.
- [10] R. Rautela, S. Arya, S. Vishwakarma, J. Lee, K.-H. Kim, and S. Kumar, "E-waste management and its effects on the environment and human health," *Science of The Total Environment*, vol. 773, p. 145623, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145623.
- [11] R. W. Ahmad, K. Salah, R. Jayaraman, I. Yaqoob, M. Omar, and S. Ellahham, "Blockchain-Based Forward Supply Chain and Waste Management for COVID-19 Medical Equipment and Supplies," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 44905–44927, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3066503.
- [12] R. W. Ahmad, K. Salah, R. Jayaraman, I. Yaqoob, and M. Omar, "Blockchain for Waste Management in Smart Cities: A Survey," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 131520–131541, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3113380.
- [13] I. Mas Pertiwi, W. S. Kristinayanti, W. Sudiasa, and K. W. Andayani, "Waste Management System of Badung River in Bali Based on Community Behaviour," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 690, no. 1, p. 012009, Dec. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/690/1/012009.
- [14] Z. Zainal, R. R. Rambey, and K. Rahman, "Governance of Household Waste Management in Pekanbaru City," *MIMBAR: Jurnal Sosial dan Pembangunan*, vol. 37, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.29313/mimbar.v37i2.7947.
- [15] S. Hemidat *et al.*, "Solid Waste Management in the Context of a Circular Economy in the MENA Region," *Sustainability*, vol. 14, no. 1, p. 480, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14010480.
- [16] R. Gatta *et al.*, "Transformasi Peran dan Kapasitas Perempuan Rumah Tangga dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Kota Makassar," *Jurnal Penyuluhan*, vol. 18, no. 02, pp. 265–276, Aug. 2022, doi: 10.25015/18202237888.
- [17] Brotosusilo, "The level of individual participation of community in implementing effective solid waste management policies," *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2020.
- [18] M. L. Boke, P. Ma'na, and C. L. Rantererung, "Peranan Dinas Lingkungan Hidup dalam Pengelolaan Sampah di Kabupaten Tana Toraja," *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, vol. 4, no. 03, pp. 251–258, Mar. 2024, doi: 10.59141/cerdika.v4i03.771.
- [19] K. Abbas, M. Afaq, T. Ahmed Khan, and W.-C. Song, "A Blockchain and Machine Learning-Based Drug Supply Chain Management and Recommendation System for Smart Pharmaceutical Industry," *Electronics (Basel)*, vol. 9, no. 5, p. 852, May 2020, doi: 10.3390/electronics9050852.

- [20] Inayatulloh, "Coffee Distribution Model with Blockchain Technology to Increase The Transparency of Local Coffee Distribution," in *2023 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, IEEE, Aug. 2023, pp. 639–643. doi: 10.1109/ICIMTech59029.2023.10277770.
- [21] Y. Ucbas, A. Eleyan, M. Hammoudeh, and M. Alohal, "Performance and Scalability Analysis of Ethereum and Hyperledger Fabric," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 67156–67167, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3291618.