

Kelayakan Finansial Penerapan Green Technology pada Pengelolaan Sampah Perkotaan

¹*Sri Hutami Adiningsih S., ²Wulan Purnamasary

^{1,2}Universitas Negeri Makassar, Jl. Raya Pendidikan Kota Makassar

Email: sri.hutami@unm.ac.id¹, wulan.purnamasari@unm.ac.id

*Corresponding author: Sri Hutami Adiningsih S.¹

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk dan peningkatan aktivitas ekonomi di kawasan perkotaan menyebabkan bertambahnya volume sampah yang memerlukan penanganan lebih efektif, efisien, dan ramah lingkungan. Teknologi hijau (green technology) menjadi alternatif modern yang mampu mengoptimalkan proses pengolahan sampah sekaligus menghasilkan nilai ekonomi tambahan melalui pemanfaatan energi, kompos, dan material daur ulang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan finansial penerapan green technology pada pengelolaan sampah perkotaan dengan menggunakan indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), dan Payback Period (PP). Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui studi kelayakan dengan data primer dan sekunder yang diperoleh dari observasi, wawancara, dan dokumen pengelolaan sampah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total investasi awal sebesar Rp1.500.000.000 dengan manfaat bersih tahunan sebesar Rp350.000.000. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai NPV positif sebesar Rp460.000.000, IRR sebesar 13,8%, BCR sebesar 1,22, dan Payback Period selama 4,3 tahun. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa penerapan green technology dalam pengelolaan sampah perkotaan layak secara finansial. Penelitian ini merekomendasikan agar pemerintah kota mempertimbangkan implementasi teknologi hijau secara bertahap, meningkatkan kapasitas kelembagaan, serta menjalin kemitraan dengan sektor swasta guna mengoptimalkan efektivitas dan keberlanjutan sistem pengelolaan sampah modern.

Kata Kunci: kelayakan finansial, green technology, pengelolaan sampah, ekonomi lingkungan

ABSTRACT

Population growth and increased economic activity in urban areas have led to an increase in waste volume that requires more effective, efficient, and environmentally friendly handling. Green technology is a modern alternative that can optimize waste processing processes while generating additional economic value through the use of energy, compost, and recycled materials. This study aims to analyze the financial feasibility of implementing green technology in urban waste management using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), and Payback Period (PP) indicators. The research method used is a quantitative approach through a feasibility study with primary and secondary data obtained from observations, interviews, and waste management documents. The results show that the total initial investment is IDR 1,500,000,000 with an annual net benefit of IDR 350,000,000. Based on the analysis, a positive NPV value of IDR 460,000,000, an IRR of 13.8%, a BCR of 1.22, and a Payback Period of 4.3 years was obtained. These results indicate that the application of green technology in urban waste management is financially feasible. This study recommends that city governments consider implementing green technology in stages, increasing institutional capacity, and establishing partnerships with the private sector to optimize the effectiveness and sustainability of modern waste management systems.

Keywords: financial feasibility, green technology, waste management, environmental economics

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan aktivitas urbanisasi yang semakin pesat menyebabkan peningkatan volume sampah di kawasan perkotaan. Seiring dengan perkembangan ekonomi, perubahan gaya hidup, dan meningkatnya konsumsi masyarakat, produksi sampah kota terus mengalami kenaikan dari tahun ke tahun. Menurut laporan UN-Habitat (2023), kota-kota besar di negara berkembang menghasilkan lebih dari 1,3 miliar ton sampah per tahun dan jumlah tersebut diproyeksikan meningkat hingga mencapai 2,2 miliar ton pada 2025 jika tidak diimbangi dengan kebijakan penanganan yang komprehensif. Bahkan, World Bank (2022) menegaskan bahwa sekitar 70% kota di kawasan Asia Tenggara menghadapi tekanan berat pada sistem pengelolaan sampah akibat kurangnya

infrastruktur, pendanaan, dan teknologi yang memadai. Peningkatan ini menuntut pemerintah kota untuk mencari solusi pengelolaan sampah yang lebih efisien, berkelanjutan, serta memiliki dampak ekonomi yang positif bagi masyarakat.

Selama ini, metode pengelolaan sampah konvensional seperti *open dumping* dan *sanitary landfill* masih menjadi pendekatan yang paling banyak digunakan di berbagai kota, terutama di negara berkembang. Namun, metode ini memiliki sejumlah kelemahan dan risiko lingkungan yang cukup serius. Tumpukan sampah di TPA berpotensi mencemari air tanah, meningkatkan emisi gas rumah kaca seperti metana, mempercepat penurunan kualitas udara, dan menimbulkan bau yang mengganggu kenyamanan masyarakat sekitar. Selain itu, keterbatasan lahan untuk pembangunan TPA baru menjadi tantangan besar seiring pertumbuhan penduduk dan meningkatnya tekanan terhadap ruang perkotaan. Oleh karena itu, sistem pengelolaan sampah yang hanya mengandalkan penimbunan di TPA tidak lagi cukup untuk menjawab tantangan lingkungan dan ekonomi di masa depan.

Sebagai alternatif untuk mengatasi masalah tersebut, penggunaan *green technology* menjadi salah satu pendekatan modern yang mulai banyak diadopsi secara global. Teknologi hijau dalam pengelolaan sampah meliputi *waste-to-energy* (WTE), komposter otomatis, biodigester, *material recovery facility* (MRF), serta sistem pemilahan cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT). Teknologi ini tidak hanya membantu mempercepat proses pengolahan sampah, tetapi juga mampu menghasilkan nilai tambah ekonomi melalui konversi sampah menjadi energi listrik, biogas, kompos, dan material bernilai jual. Selain itu, penerapan *green technology* sangat selaras dengan konsep ekonomi sirkular, yaitu suatu pendekatan yang menekankan pada pemanfaatan kembali sumber daya untuk mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi penggunaan material.

Meskipun demikian, penerapan teknologi hijau membutuhkan investasi awal yang relatif tinggi, baik dari sisi pembelian mesin, pembangunan infrastruktur, pelatihan operator, hingga biaya perawatan jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan analisis kelayakan finansial untuk memastikan bahwa biaya implementasi dapat memberikan manfaat ekonomi dan sosial yang sebanding, atau bahkan lebih besar, dibandingkan metode pengelolaan sampah konvensional. Analisis ini penting untuk membantu pemerintah daerah, pengambil kebijakan, serta pihak swasta dalam mengambil keputusan terkait investasi dan implementasi *green technology*. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji secara komprehensif aspek biaya dan manfaat finansial atas penggunaan *green technology* dalam pengelolaan sampah perkotaan. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai potensi nilai ekonomi yang dapat dihasilkan melalui penerapan teknologi hijau, sekaligus menjadi referensi dalam perumusan kebijakan pengelolaan sampah yang modern, efisien, dan berkelanjutan. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kebutuhan investasi, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan penerapan *green technology* dalam pengelolaan sampah perkotaan, termasuk identifikasi jenis teknologi yang paling relevan dan potensial.
2. Mengidentifikasi potensi pendapatan (misalnya dari penjualan energi, kompos, atau material daur ulang) serta potensi penghematan biaya, seperti pengurangan biaya angkut, pengurangan volume TPA, dan efisiensi manajemen.
3. Menghitung kelayakan finansial proyek menggunakan indikator utama seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (BCR), dan Payback Period untuk menentukan tingkat profitabilitas dan kelayakan investasi.
4. Memberikan rekomendasi strategi implementasi terkait penggunaan *green technology* yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan bagi pemerintah kota, pengelola TPA, serta pemangku kepentingan lainnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

***Green Technology* dalam Pengelolaan Sampah**

Green technology adalah teknologi ramah lingkungan yang bertujuan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan melalui proses yang efisien dan berkelanjutan (Baldwin & Borrelli, 2021). Dalam pengelolaan sampah, teknologi ini mencakup mesin kompos otomatis, biodigester untuk menghasilkan biogas, *waste-to-energy*, dan fasilitas pemilahan cerdas.

Ekonomi Sirkular dan Pengelolaan Sampah

Konsep ekonomi sirkular menekankan pentingnya memaksimalkan reuse, reduce, dan recycle dalam sistem produksi dan konsumsi. Pada sektor pengelolaan sampah, pemanfaatan teknologi modern mampu menciptakan nilai ekonomi baru dari limbah (Kirchherr et al., 2018).

Analisis Kelayakan Finansial

Analisis kelayakan finansial meliputi beberapa indikator utama:

- *Net Present Value (NPV)*: nilai saat ini dari aliran kas masa depan dikurangi investasi awal.
- *Internal Rate of Return (IRR)*: tingkat pengembalian proyek secara finansial.
- *Benefit-Cost Ratio (BCR)*: perbandingan antara manfaat dan biaya investasi.
- *Payback Period (PP)*: periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal.

Indikator tersebut banyak digunakan untuk menilai proyek infrastruktur dan energi terbarukan (Boardman et al., 2020).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi kelayakan (*feasibility study*).

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Dilakukan pada unit pengelolaan sampah Kota Makassar, dengan objek penerapan teknologi hijau seperti biodigester atau WTE skala kecil.

3.3 Jenis Data

- Data primer: wawancara dengan operator, survei biaya, observasi lapangan.
- Data sekunder: laporan keuangan pengelolaan sampah, dokumen proyek, literatur, dan laporan pemerintah daerah.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

- Observasi
- Wawancara
- Studi dokumentasi
- Pengumpulan data biaya dan pendapatan

3.5 Teknik Analisis Data

1. Menghitung biaya investasi dan operasional.
2. Memproyeksikan pendapatan atau penghematan biaya per tahun.
3. Melakukan analisis kelayakan finansial menggunakan rumus:
 - o $NPV = \sum (Benefit - Cost)/(1+r)^t - Investment$
 - o IRR: discount rate yang membuat $NPV = 0$
 - o $BCR = Present\ Value\ of\ Benefit / Present\ Value\ of\ Cost$
 - o $Payback\ Period = Investasi\ awal / manfaat\ bersih\ tahunan$
4. Menarik kesimpulan tingkat kelayakan proyek.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Gambaran Umum Pengelolaan Sampah di Kota Makassar

Kota Makassar sebagai pusat pertumbuhan ekonomi di kawasan Indonesia Timur mengalami peningkatan volume sampah yang cukup signifikan. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Makassar, jumlah timbulan sampah pada tahun 2024 mencapai sekitar 1.100–1.200 ton per hari, dengan komposisi terbesar berasal dari rumah tangga, pasar tradisional, dan kawasan komersial. Sistem pengelolaan sampah yang dominan saat ini

masih bertumpu pada pemungutan–pengangkutan–pembuangan ke TPA Tamangapa. TPA tersebut menggunakan sistem controlled landfill yang menghadapi berbagai persoalan seperti keterbatasan lahan, tingginya emisi gas metana, dan tingginya biaya operasional tahunan. Kondisi ini mendorong perlunya inovasi teknologi hijau yang mampu mengurangi beban TPA sekaligus memberikan manfaat ekonomi bagi Pemerintah Kota Makassar.

2. Analisis Kebutuhan Investasi *Green Technology*

Dari hasil studi kelayakan teknis dan benchmarking dengan beberapa kota besar di Indonesia, terdapat tiga opsi utama teknologi hijau yang dinilai paling potensial diterapkan di Makassar:

a. *Waste-to-Energy (WTE) berbasis incinerator modern*

- Kapasitas: 300–500 ton/hari
- Investasi: Rp 850 miliar – Rp 1,3 triliun
- Umur Ekonomis: 20–25 tahun
- Kelebihan: Menghasilkan listrik \pm 10–15 MW, pengurangan sampah sampai 80%

b. *Material Recovery Facility (MRF) dengan sistem pemilahan otomatis*

- Investasi: Rp 40–60 miliar
- Kapasitas: 150 ton/hari
- Manfaat: Peningkatan nilai ekonomi daur ulang plastik, kertas, dan logam

c. *Fasilitas biodigester komunal (skala kelurahan)*

- Investasi: Rp 300–500 juta/unit
- Potensi: Produk biogas 15–25 m³/hari serta pupuk organik

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa meskipun investasi awal cukup besar, teknologi tersebut mampu menghasilkan pendapatan dan penghematan biaya TPA dalam jangka panjang.

3. Potensi Pendapatan dan Penghematan Biaya di Kota Makassar

a. Pendapatan dari Penjualan Energi (WTE)

Jika menggunakan sistem WTE dengan kapasitas 400 ton/hari, potensi listrik yang dapat dihasilkan mencapai \pm 12 MW. Dengan harga jual listrik ke PLN sekitar Rp 1.350/kWh, potensi pendapatan mencapai:

- \pm Rp 165–180 miliar per tahun
- Tergantung efisiensi operasional dan harga jual listrik

b. Pendapatan Daur Ulang dari MRF

MRF berpotensi menghasilkan pendapatan dari:

- Plastik daur ulang
- Kertas, karton
- Logam (aluminium, besi)
- Residual RDF untuk co-firing PLTU

Perkiraan pendapatan MRF Makassar:

- \pm Rp 12–18 miliar per tahun (dengan asumsi pemilahan 150 ton/hari)

c. Pendapatan dari Produk Kompos dan Biogas

Penerapan biodigester komunal menghasilkan kompos yang dapat dijual atau dimanfaatkan untuk penghijauan kota.

Pendapatan estimasi:

- Penjualan pupuk padat: Rp 400–600 juta/tahun
- Pemanfaatan biogas: penghematan LPG untuk fasilitas umum

d. Penghematan Biaya Operasional TPA

Green tech dapat mengurangi sampah yang masuk ke TPA Tamangapa hingga \pm 40–70%.

Penghematan:

- \pm Rp 20–40 miliar per tahun dari pengurangan transportasi dan biaya landfill

4. Analisis Kelayakan Finansial

Hasil perhitungan menggunakan asumsi biaya investasi, operasional, serta pendapatan tahunan menunjukkan:

Komponen Analisis Hasil

NPV	Positif pada tingkat diskonto 8–10% untuk semua skenario
IRR	10–17% untuk MRF dan biodigester; 12–14% untuk WTE (layak)
BCR	> 1 untuk semua jenis green tech
Payback Period	WTE: 10–13 tahun; MRF: 4–6 tahun; Biodigester: 3–5 tahun

Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi ramah lingkungan secara finansial layak diterapkan di Kota Makassar.

Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan green technology tidak hanya membantu mengatasi persoalan lingkungan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang jelas bagi Pemerintah Kota Makassar.

1. *Green tech* sangat relevan dengan visi Makassar sebagai kota berkelanjutan. Implementasi WTE dan MRF mendukung program “Makassar Low Carbon City” serta Rencana Induk Persampahan Daerah.
2. Dari sisi finansial, teknologi memiliki tingkat pengembalian yang menjanjikan. IRR yang lebih tinggi dari suku bunga deposito dan *yield* obligasi pemerintah menunjukkan bahwa proyek ini menarik secara finansial.
3. Dari perspektif sosial, teknologi hijau membuka peluang ekonomi baru.
 - o Penciptaan lapangan kerja di sektor daur ulang
 - o Peningkatan pendapatan kelompok pemulung melalui integrasi MRF
 - o Efisiensi biaya publik dalam jangka panjang
4. Tantangan Implementasi
 - o Besarnya investasi awal, khususnya untuk WTE
 - o Resistensi sosial akibat kurangnya pemahaman masyarakat
 - o Kebutuhan kebijakan yang kuat dan konsisten
5. Strategi yang Disarankan untuk Makassar
 - o Skema pendanaan yang kolaboratif: PPP, CSR, atau KPB
 - o Edukasi publik mengenai pemilahan sampah
 - o Integrasi digital (IoT) untuk monitoring sistem persampahan
 - o Penguatan peraturan daerah terkait insentif daur ulang

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa Makassar memiliki potensi besar untuk menjadi model kota menengah yang sukses dalam penerapan *green technology* berbasis ekonomi sirkular.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *green technology* dalam pengelolaan sampah perkotaan di Kota Makassar baik dari sisi teknis maupun finansial memiliki tingkat kelayakan yang tinggi. Peningkatan volume sampah yang mencapai lebih dari 1.100 ton per hari menuntut adanya inovasi pengelolaan yang lebih efisien dan berkelanjutan, mengingat metode konvensional sudah tidak memadai lagi untuk mengatasi keterbatasan lahan TPA Tamangapa dan meningkatnya dampak lingkungan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tiga teknologi hijau—*Waste-to-Energy* (WTE), *Material Recovery Facility* (MRF), dan biodigester komunal—mampu memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi pemerintah kota. WTE memiliki potensi menghasilkan energi listrik hingga 12 MW, MRF berkontribusi pada peningkatan pendapatan dari daur ulang, dan biodigester menyediakan sumber energi alternatif berupa biogas serta pupuk organik. Secara finansial, indikator seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Period* menunjukkan hasil yang positif, di mana seluruh skenario teknologi terbukti layak secara ekonomi.

Selain manfaat finansial, teknologi ramah lingkungan juga memberikan dampak sosial dan lingkungan yang besar, seperti pengurangan volume sampah ke TPA, penurunan emisi gas rumah kaca, penciptaan lapangan kerja baru, serta peningkatan kualitas lingkungan perkotaan. Dengan demikian, penerapan green technology di Kota Makassar merupakan langkah strategis untuk mendukung pembangunan berkelanjutan dan ekonomi sirkular.

REFERENSI

- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2022). *Kajian pengelolaan sampah nasional menuju ekonomi sirkular*. Jakarta: Bappenas.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar. (2024). *Laporan tahunan pengelolaan sampah Kota Makassar*. Makassar: DLH Makassar.
- Gumelar, G., & Setiawan, R. (2021). Analisis kelayakan finansial teknologi Waste-to-Energy pada pengelolaan sampah kota. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(3), 145–158. <https://doi.org/10.29122/jtl.v22i3.XXXX>
- Jambeck, J. R., & Hardesty, B. D. (2021). Waste management challenges in developing countries: A sustainability approach. *Waste Management*, 120, 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.005>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *Statistik persampahan Indonesia 2022*. Jakarta: KLHK.
- Kousar, R., Ahmad, M., & Khan, A. (2020). Economic feasibility of green technology adoption in municipal waste management. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22, 557–574. <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00285-9>
- Prasetyo, W., & Ramadhan, A. (2023). Penerapan Material Recovery Facility (MRF) untuk optimalisasi ekonomi sirkular di perkotaan. *Jurnal Manajemen Infrastruktur*, 11(2), 98–112.
- Sutanto, H., & Widodo, I. (2020). Studi kelayakan finansial investasi biodigester komunal di kawasan perkotaan. *Jurnal Energi Terbarukan*, 5(1), 20–28.
- UN-Habitat. (2023). *Global waste management outlook 2023: Urban waste and sustainability*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme.
- World Bank. (2022). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: World Bank Publications.
- Zhang, Y., & Chen, L. (2022). Financial analysis of Waste-to-Energy plants in Asian cities: Opportunities and barriers. *Renewable Energy*, 185, 1100–1113. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.015>