



Analisis Perbandingan Ekonomi dari Teknologi MASARO dan Tempat Olah Sampah di Sumbernya (TOSS) dalam Pengelolaan Sampah di Provinsi Jawa Barat

Comparative Economic Analysis of MASARO and Waste Processing at Source (TOSS) Technologies in Waste Management in West Java Province

AKHMAD ZAINAL ABIDIN^{1*}, SOEN STEVEN^{2,3}, NASHWA Z. RACHMAN¹, MUTIARA QAIDA¹, ELSYE V. YEMENSIA¹, ERNIE S. A. SOEKOTJO^{1,2}, HAFIS P. R. GRAHA¹, RIDWAN P. PUTRA¹

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

² Research Center For Sustainable Production System and Life Cycle Assessment, National Research and Innovation Agency (BRIN), KST BJ Habibie, South Tangerang, Banten 15314, Indonesia

³ Biomass Technology Workshop, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung, Sumedang 45363, Indonesia

* aza@itb.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 March 2024

Accepted 5 December 2024

Published 31 January 2025

Keywords:

Waste

Chopping

Pellet

Calorific value

Organic fertilizer

ABSTRACT

The problem of unmanaged waste, especially in West Java, certainly has a negative impact on humans and the environment. Thus, the topic of waste processing has become important recently. There are several well-known waste processing technologies, namely MASARO and TOSS. Both have great potential because they can process waste into valuable products that can be sold. This study aims to compare the performance of waste processing with these two technologies from their economic aspects. The method for economic analysis is derived from the details of the waste processing process from both technologies. On the other hand, the method for economic analysis is carried out using IRR parameter. Potentially, MASARO produces liquid organic fertilizer and feed concentrate, while TOSS produces pellets which can be an alternative use of fuel. This liquid organic fertilizer and feed concentrate give a big economic boost to MASARO. The production process has a scale ranging from 0.6 to 6.4 tons/month. The results of IRR calculation from MASARO were obtained at 96.59%, indicating that this technology is economically feasible. Meanwhile, the waste processing product from TOSS is in the form of pellets with a diameter of 10 mm and a length of between 10-40 mm. The calorific value is in the range of 3000-4000 kcal/kg and the maximum water content is 15%. When compared to coal, these pellets tend to have higher levels of volatile matter and ash, while lower levels of ash and sulfur. The calculation results demonstrate that the economic aspect of TOSS is also interesting because it has an IRR of 46.99%. Finally, the application of both technologies can be beneficial for West Java because MASARO technology in the long term can lead to agrarian and livestock sustainability, while TOSS technology in the long term can replace dependence on coal.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 1 Maret 2024

Disetujui 5 Desember 2024

Diterbitkan 31 Januari 2025

Kata kunci:

Sampah

Pencacahan

Pelet

Nilai kalor

Pupuk organik

ABSTRAK

Permasalahan sampah yang tidak dikelola, terutama di Jawa Barat, tentu berdampak negatif terhadap manusia dan lingkungan. Dengan demikian, topik pengolahan sampah menjadi penting akhir-akhir ini. Ada beberapa teknologi pengolahan sampah yang terkenal yaitu MASARO dan TOSS. Keduanya memiliki potensi yang besar karena dapat mengolah sampah menjadi produk yang dapat dimanfaatkan dan dijual. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja pengolahan sampah dengan kedua teknologi tersebut dari aspek ekonomi. Metode dalam analisis ekonomi diturunkan dari detail proses pengolahan sampah dari kedua teknologi. Setelah itu, metode untuk analisis ekonomi dilakukan dengan parameter IRR. Secara potensi, MASARO menghasilkan pupuk dan konsentrat pakan organik cair, sedangkan TOSS menghasilkan pelet yang dapat menjadi alternatif penggunaan bahan bakar. Pupuk dan konsentrat pakan organik cair ini mendongkrak keekonomian yang besar pada MASARO. Proses produksinya memiliki skala yang berkisar dari 0,6 sampai 6,4 ton/bulan. Hasil perhitungan IRR dari MASARO diperoleh sebesar 96,59% menggambarkan bahwa teknologi ini amat layak secara ekonomi. Sementara itu, produk pengolahan sampah dari TOSS adalah berupa pelet dengan diameter 10 mm dengan panjang antara 10-40 mm. Nilai kalornya berada di rentang 3000-4000 kkal/kg dan kadar air maksimalnya 15%. Jika dibandingkan dengan batubara, pelet ini cenderung memiliki kadar zat terbang dan abu yang lebih tinggi, sementara kadar abu dan sulfurnya lebih rendah. Hasil perhitungan membuktikan bahwa aspek ekonomi TOSS juga menarik karena memiliki IRR sebesar 46,99%. Pada akhirnya, penerapan kedua teknologi dapat bermanfaat bagi Jawa Barat karena teknologi MASARO dalam jangka panjang dapat mengarah pada keberlanjutan pertanian dan peternakan, sedangkan teknologi TOSS dalam jangka panjang dapat menggantikan ketergantungan pada batubara.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Jawa Barat didominasi oleh beberapa kota besar dengan jumlah penduduk melebihi empat juta orang antara lain Bandung, Bekasi, Bogor, Cirebon, dan Depok. Tingginya jumlah penduduk berpengaruh pada besarnya jumlah sampah yang dihasilkan. Sampah yang dihasilkan sebagian besar bersumber dari kegiatan rumah tangga, pasar lokal, usaha kecil, hotel, restoran, dan industri. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), terdapat sekitar 1.066.275,83 ton sampah di Jawa Barat pada tahun 2023 (SIPSN, 2023). Akibatnya, penumpukan sampah yang tidak dikelola tentu berdampak negatif terhadap kesehatan manusia, merusak lingkungan sekitar, dan menurunkan nilai estetika kota. Dengan demikian, topik pengolahan sampah menjadi penting akhir-akhir ini.

Beragam inovasi telah melahirkan beragam teknologi pengolahan sampah, baik yang diadopsi dari luar negeri maupun karya anak bangsa sendiri. Pemilihan teknologi pengolahan sampah yang paling sesuai untuk diterapkan di suatu daerah selain harus sudah teruji dan ramah lingkungan juga dipengaruhi oleh timbulan sampah, komposisi sampah, karakteristik sampah, tingkat reduksi sampah, lokasi dan luas lahan yang tersedia, keberadaan pihak yang mengambil hasil dari bank sampah, biaya yang tersedia, penerimaan sosial dari masyarakat sekitar, dan hasil sampingan (Abidin, Steven, Sirait, *et al.*, 2024; Febijanto *et al.*, 2024; Yuliani *et al.*, 2022). Melihat di Jawa Barat, ada beberapa teknologi pengolahan sampah yang sudah dikenal dan mudah serta praktis diterapkan di antaranya adalah MASARO dan TOSS.

MASARO adalah singkatan dari manajemen sampah *zero* yang dikembangkan di ITB dan befokus pada pengelolaan seluruh sampah lokal (ITB, 2021). Di satu sisi, TOSS (Tempat Olah Sampah di Sumbernya) merupakan manajemen sampah lokal yang dikembangkan oleh STT PLN (Legino *et al.*, 2019). Kedua teknologi ini berfokus pada pengolahan sampah organik, membutuhkan waktu pengolahan yang relatif singkat, sama-sama menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan dan dijual, dan melakukan pemilahan sampah di sumber. Perbedaan dari kedua metode ini adalah produk yang dihasilkan dan metode yang digunakan.

MASARO mentransformasi pendekatan pengelolaan sampah dari yang konvensional “kumpul–angkut–buang” menjadi “pilah–angkut–proses–jual”. Pengelolaan sampah membutuhkan dana yang besar untuk dapat ditanggulangi permasalahannya. Sampah hanya dikumpulkan, diangkut, lalu dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA). Dengan MASARO, sampah harus terlebih dahulu dipilah dari sumbernya agar bisa diolah dengan tepat sasaran menjadi suatu produk yang bernilai jual tinggi. Misalnya, sampah yang mudah membusuk peruntukannya adalah diolah jadi pupuk, sampah plastik, dan kertas yang masih bernilai peruntukannya adalah didaur ulang, sampah anorganik tidak bernilai peruntukannya adalah dibakar, sampah organik yang sulit membusuk peruntukannya adalah dikomposkan, dan sampah logam kaca dan sejenisnya ditangani oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Abidin *et al.*, 2021a; Abidin *et al.*, 2021b).

MASARO merupakan teknologi pengolahan sampah yang terintegrasi, karena terdiri dari sub-teknologi yang masing-masing dapat berdiri sendiri. Secara keseluruhan, MASARO dirancang untuk dapat menyelesaikan sampah di TPA ataupun menyelesaikan sampah untuk tidak sampai ke TPA. Pemrosesannya mampu menambah nilai sampah menjadi produk bernilai jual tinggi. Adapun prinsip dari MASARO adalah melakukan pemilahan sampah di sumber, melakukan pengolahan sampah di dekat sumber, melibatkan masyarakat, pemerintah, dan industri, menerapkan teknologi ramah lingkungan, membuat manajemen untuk program keberlanjutan (ITB, 2021).

Di sisi lain, TOSS merupakan pendekatan yang bertujuan untuk mengurangi jumlah sampah yang masuk ke TPA atau tempat pembakaran sampah. Prinsip utama TOSS adalah mengelola sampah sejak dari sumbernya, yaitu di tempat di mana sampah dihasilkan, seperti rumah tangga, perkantoran, pasar, hotel, dan tempat umum lainnya. Meskipun sudah ada beberapa metode pembangkit energi dari sampah seperti insenerator, gasifier, dan piroliser, teknologi-teknologi tersebut masih menghadapi oleh beberapa masalah seperti biaya modal yang tinggi, kadar air sampah yang tinggi, dan luasnya area pemrosesan yang diperlukan (Basu, 2013; Febijanto *et al.*, 2024; Winanti *et al.*, 2022; Yuliani *et al.*, 2022).

Menariknya, TOSS juga tidak memerlukan TPA karena sampah diproses di sumbernya dan dapat dibangun di setiap komunitas yang menghasilkan sampah dengan hanya sebesar 3 ton per hari dengan investasi total (termasuk biaya operasional) maksimal Rp300.000.000. TOSS juga dapat mengurangi frekuensi truk sampah yang menuju ke tempat pembuangan. Pemrosesan sampah dengan TOSS hanya membutuhkan waktu 7-10 hari untuk dijadikan pelet (Legino *et al.*, 2019). Hal ini berbeda dengan pelet kayu hutan dan pertanian lainnya yang memerlukan lahan besar dan beberapa bulan atau tahun untuk panen. Pelet TOSS selanjutnya bisa digunakan untuk keperluan pembangkit. Hal ini berdampak positif dalam mengurangi penggunaan batubara secara masif yang dapat mencemari lingkungan (Trirahayu *et al.*, 2022, 2023). STT PLN telah melaksanakan kajian eksperimen terkait TOSS di Pondok Kopi, Duri Kosambi Jakarta, dan Kabupaten Klungkung sejak Januari 2018. Penerapannya di Klungkung telah berhasil menghasilkan listrik dari pelet TOSS menggunakan genset diesel Yanmar 15 kW.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja pengolahan sampah di Provinsi Jawa Barat dengan teknologi MASARO dan TOSS dari aspek ekonomi dengan kapasitas pengolahan 100 ton/hari. Dengan kapasitas pengolahan yang sama, aspek ekonomi yang dibandingkan meliputi biaya modal (CAPEX), biaya operasional (OPEX), pendapatan, dan tingkat pengembalian bunga internal (IRR) selama 5 tahun operasi. Selain itu, parameter tambahan yang dibandingkan adalah waktu proses, reduksi sampah, dan produk yang dihasilkan. Alur penyajian artikel ini dimulai dari latar belakang permasalahan sampah, perlunya pengolahan sampah, metode terkait teknologi MASARO dan TOSS, asumsi-asumsi perhitungan yang digunakan, paparan hasil

dan diskusi terkait keekonomian dari kedua teknologi, dan ditutup dengan kesimpulan.

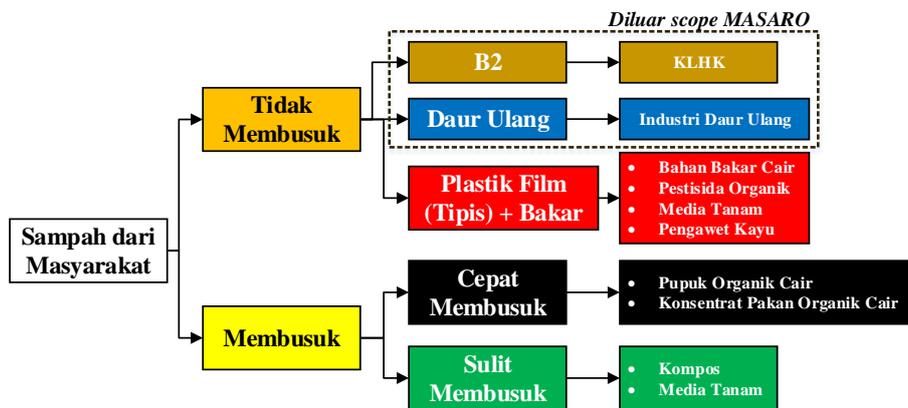
2. METODE

2.1 Pengolahan Sampah Organik dengan Teknologi MASARO

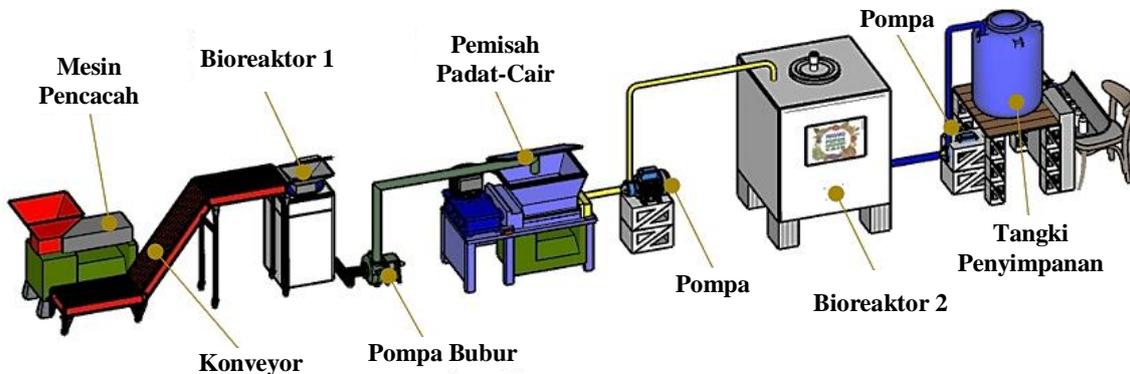
Teknologi MASARO mengkategorikan sampah menjadi sampah organik, sampah bakar, sampah plastik film, sampah daur ulang, dan sampah berbahaya (B2). Sampah organik dibagi lebih lanjut menjadi sampah mudah membusuk (sampah makanan, sayur, buah, dan jeroan) dan sampah sulit membusuk (dedaunan, kulit buah keras, dan ranting pohon). Sampah daur ulang dipisahkan untuk diurus oleh industri daur ulang sedangkan sampah B2 dipisahkan untuk diolah

secara khusus oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Gambar 1 menjelaskan klasifikasi sampah dan produk-produk hasil pengolahannya dengan teknologi MASARO.

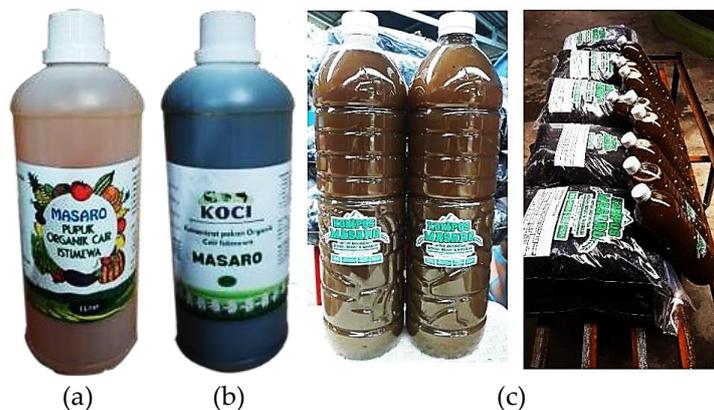
Sampah mudah membusuk diolah menjadi pupuk dan konsentrat pakan organik cair seperti yang diskemakan dalam Gambar 2. Sebanyak 1 kg sampah mudah membusuk dapat diolah menjadi 10-12 L pupuk dan konsentrat pakan organik cair (Abidin, Steven, Rambe, *et al.*, 2024). Sampah yang sulit membusuk diolah menjadi kompos dan media tanam untuk cabai, tomat, dan bawang (Steven, Dwiputra, *et al.*, 2024). Sebanyak 1 kg sampah sulit membusuk dapat menghasilkan 1 kg kompos. Produk-produk berupa pupuk dan konsentrat pakan organik cair serta kompos disajikan pada Gambar 3.



Gambar 1. Klasifikasi Sampah dan Produk-Produk Hasil Pengolahannya dengan Teknologi MASARO



Gambar 2. Proses Pengolahan Sampah Mudah Membusuk dengan Teknologi MASARO

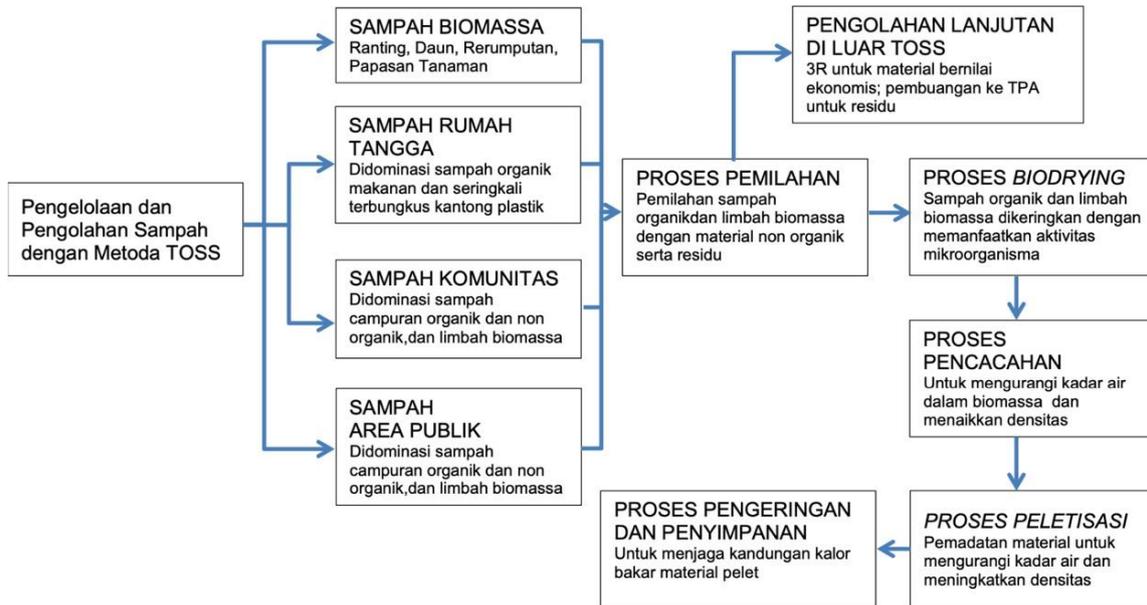


Gambar 3. Produk-Produk dari Pengolahan Sampah Organik dengan Teknologi MASARO: Pupuk Organik Cair (a), Konsentrat Pakan Organik Cair (b), dan Kompos (c)

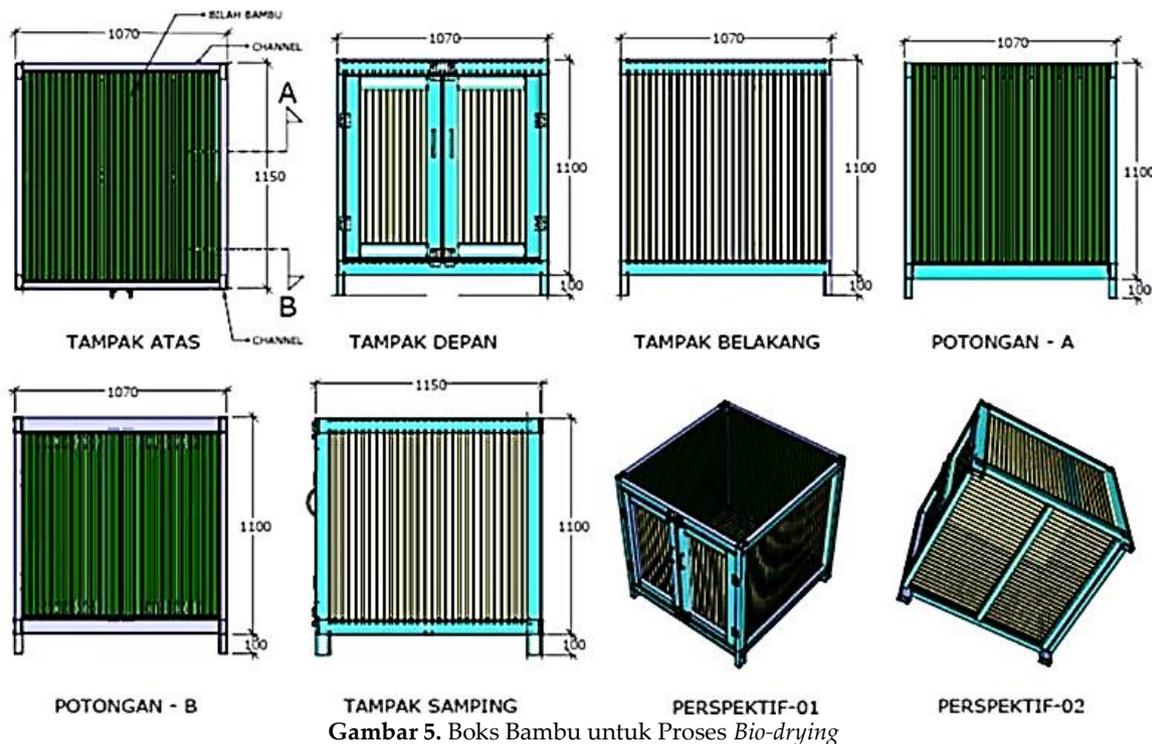
Sampah bakar dan plastik film diolah dalam insinerator, piroliser, dan unit pencuci gas buang. Energi termal dari insinerasi sampah bakar dimanfaatkan untuk mempirolisis plastik menjadi bahan bakar minyak akibat prosesnya yang endotermik (Hernowo *et al.*, 2024; Putri *et al.*, 2024; Steven, Nugraha, *et al.*, 2024). Hasil samping dari insinerasi sampah bakar adalah abu yang dapat digunakan sebagai media tanam. Gas buang dari insinerator dan piroliser kemudian dicuci dengan air agar gas buangnya tidak mencemari lingkungan (Abidin *et al.*, 2020; Yemensia *et al.*, 2023). Hasil pencucian adalah cairan yang dapat bertindak sebagai pengawet kayu atau pesitisa organik (Abidin, Steven, Rambe, *et al.*, 2024).

2.2 Pengolahan Sampah Organik dengan Teknologi TOSS

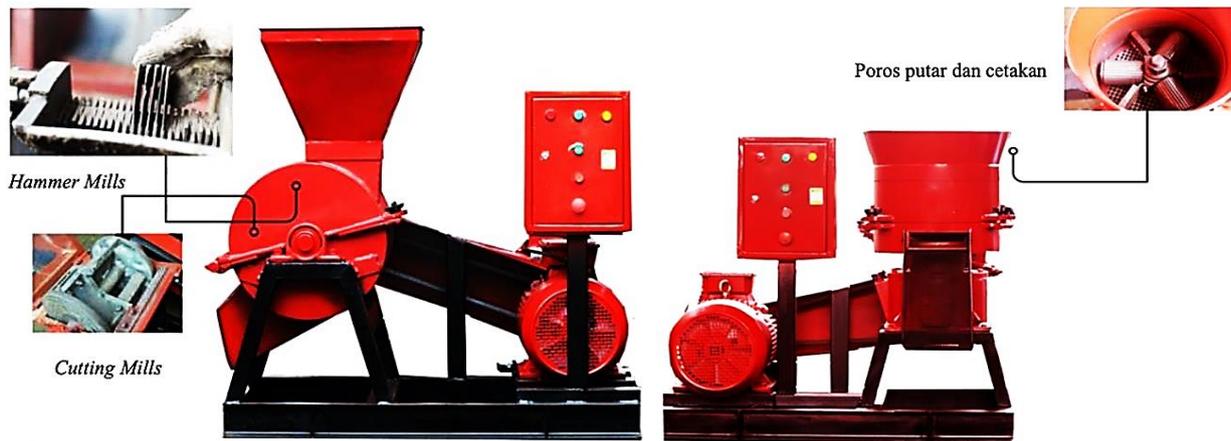
Proses pengolahan sampah dengan teknologi TOSS diberikan pada Gambar 4. Setelah pemilahan dan proses *bio-drying*, sampah dimasukkan ke dalam boks bambu (Gambar 5). Teknik ini memanfaatkan mikroorganisme aerobik yang tersimpan di dalam cairan bioaktivator khusus untuk mengurangi kelembaban, bau, dan meningkatkan nilai kalor dari sampah. Aktivitas ini melepaskan sejumlah energi termal yang akan mengurangi kandungan air dalam sampah sambil meningkatkan nilai kalornya (Brunner *et al.*, 2021). Material bambu dapat menjaga kestabilan suhu dan sirkulasi udara di dalam boks sehingga menciptakan kondisi yang cocok untuk aktivitas mikroorganisme. Proses ini dibiarkan selama 7-10 hari dengan suhu terjaga pada 40-70°C.



Gambar 4. Diagram Alir Pengolahan Sampah Organik dengan Teknologi TOSS



Gambar 5. Boks Bambu untuk Proses *Bio-drying*



Gambar 6. Mesin Pencacahan (kiri) dan Mesin Peletisasi (kanan)

Tahap selanjutnya adalah mencacah sampah kering menggunakan *cutting mills* dan *hammer mills* seperti pada Gambar 6 kiri. Bagian *cutting mills* terdiri dari rangkaian pisau yang terpasang pada poros yang berputar dan pisau statis. Pada bagian akhir dari mesin cacah, terdapat saringan dengan ukuran yang dapat disesuaikan dengan hasil yang ingin dicapai. Sampah yang belum lolos dari saringan akan tertahan di ruang *hammer mills* dan terus mengalami pengecilan ukuran. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan peletisasi menggunakan mesin seperti pada Gambar 6 kanan. Produk hasil cacahan akan ditekan dan dikeluarkan dari bawah oleh komponen penyapu. Sebanyak 1 ton sampah diolah dengan teknologi TOSS dapat menghasilkan 100-250 kg pellet.

2.3 Asumsi-Asumsi dan Perhitungan Ekonomi dalam Teknologi MASARO

Analisis ekonomi sederhana untuk teknologi MASARO menggunakan parameter IRR. Ini adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi profitabilitas suatu proyek atau bisnis. Dalam konteks MASARO, penghitungan dilakukan dengan data lapangan CAPEX, OPEX, total penjualan produk dari PT. Masaro Sukabumi Maju Mandiri, laju diskonto 10%, pajak 20%, dan depresiasi mengikuti model linier.

Biaya modal (CAPEX) disesuaikan dengan kapasitas pengolahan sampah mudah membusuk 0,6 ton/bulan, 1,2 ton/bulan, atau 6,4 ton/bulan dan juga kapasitas pengolahan sampah sulit membusuk sebanyak 5 ton/hari. Total biaya operasional (OPEX) merupakan penjumlahan dari biaya bahan baku, biaya tenaga kerja, biaya pemeliharaan dan perbaikan, biaya pemasaran produk, biaya administrasi dan manajemen, biaya energi & utilitas, dan biaya lainnya (5% dari total OPEX). Di satu sisi, total pendapatan diperoleh dari penjualan kompos, pestisida organik, serta pupuk dan konsentrat pakan organik cair.

2.4 Asumsi-Asumsi dan Perhitungan Ekonomi dalam Teknologi TOSS

Energi yang dihasilkan oleh TOSS dihitung untuk mengurangi penggunaan batubara. Batubara jenis sub-bituminus (5200 kkal/kg) memiliki harga Rp1.050 per kg. Batubara lignit (4400 kkal/kg) memiliki harga Rp750 per kg. Batubara rendah mutu di ujung tambang (<3800 kkal/kg)

memiliki harga Rp375 per kg. Bahan bakar diesel memiliki harga Rp7500 per L (9100 kkal/L) (BPS Indonesia, 2023a). LNG memiliki harga Rp150.000 per L (252.000 kkal/Mscf) (BPS Indonesia, 2023b). Jumlah penduduk nasional adalah 253 juta orang. Kapasitas total tempat pembuangan sampah di seluruh negara adalah 8,42 juta ton per tahun (BPS Indonesia, 2023c). Biaya modal dan operasional dari siklus penuh proses TOSS diambil dari penelitian sebelumnya berdasarkan observasi langsung.

Simulasi dihitung dengan menggunakan langkah-langkah berikut. Sampah organik diolah menjadi pelet dengan faktor produksi pelet (pf) = 0,25, yang berarti satu ton sampah dapat menghasilkan 250 kg pelet. Nilai kalor pelet yang digunakan untuk perhitungan adalah $c = 3000$ kkal/kg. Pendapatan dari penjualan pelet dapat dihitung sebagai berikut $R = W \times pf \times t$ di mana R adalah pendapatan dalam rupiah, W adalah berat sampah dalam ton, dan t adalah harga pelet dalam rupiah. Simulasi ini menggunakan 3 ton sampah dengan $pf = 0,25$, dan $t = Rp450$ per kg.

Untuk menghitung jumlah energi, simulasi ini akan menggunakan nilai rata-rata yang diamati selama implementasi TOSS di Klungkung, yaitu 1 kg pelet dapat menghasilkan sekitar 1 kWh energi listrik. Potensi energi tahunan dari sampah ke energi (MWh) dapat dihitung sebagai berikut $E = p \times W \times \eta$ dimana η adalah efisiensi generasi listrik yang diasumsikan 60%. Kapasitas pembangkit listrik (CP) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $CP = E / (h \times 360)$ di mana CP bersatuan MW dan h adalah jumlah jam operasi per hari (6 jam untuk puncak, 24 jam untuk beban dasar). Analisis ekonominya menggunakan parameter IRR dengan tingkat bunga diskonto sebesar 10%, laju diskonto 10%, pajak 20%, dan depresiasi mengikuti model linier.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Ekonomi dari Teknologi MASARO

Teknologi MASARO mengungkapkan keunggulan yang secara signifikan mengubah paradigma pengelolaan sampah. MASARO memperkenalkan pendekatan baru yang lebih dari sekadar pengumpulan dan pembuangan, melainkan berfokus pada pemilahan, pengumpulan, pemrosesan, dan penjualan. Fokus utamanya adalah menghasilkan produk bernilai tinggi, sehingga memicu efisiensi yang lebih besar dalam pengelolaan limbah. Melalui

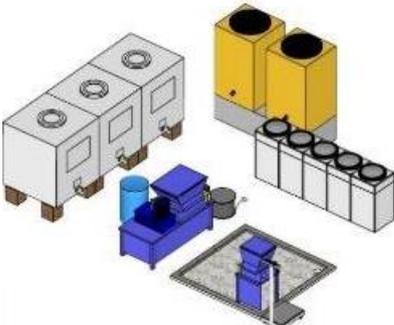
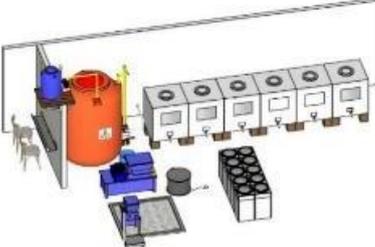
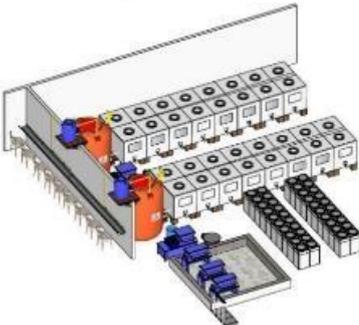
program lingkungan bersih, hijau, dan produktif, masyarakat, pemerintah, dan industri terlibat dalam pengelolaan dan pengolahan sampah organik di tingkat rumah tangga. Hal ini mendorong transformasi sampah organik menjadi produk bermanfaat seperti pupuk kompos atau pupuk organik cair, dan konsentrat organik cair untuk pakan ternak. Bahkan sampah anorganik yang telah melalui pengolahan dalam sistem MASARO dapat diubah menjadi media tanam, pestisida organik, dan bahan bakar minyak.

Aspek keekonomian terbesar dari teknologi MASARO adalah pengolahan sampah mudah membusuk menjadi pupuk dan konsentrat pakan organik cair karena mendongkrak keekonomian yang besar. Peralatan untuk mengolah sampah mudah membusuk memiliki skala yang beragam mulai dari 0,6-6,4 ton/bulan. Teknologi pengolahan

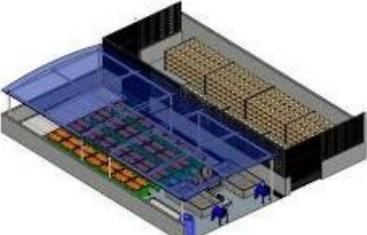
sampah ini bersih dan tidak berbau, mudah dalam operasional, dan prosesnya berlangsung dalam waktu 28 hari. Bahan konstruksi fermentor dan tangki produk adalah HDPE. Sistem perpipaannya menggunakan PVC dan peralatan lainnya menggunakan galvanis dan SS. Spesifikasi lebih lanjut terhadap unit pengolahan sampah mudah membusuk dapat dilihat pada Tabel 1.

Di samping itu, pengolahan sampah sulit membusuk berlangsung dalam waktu 7-10 hari. Bahan konstruksi fermentor dan tangki produk adalah HDPE. Sistem perpipaannya menggunakan PVC, bak pencampurannya menggunakan semen dan peralatan lainnya menggunakan galvanis dan SS. Spesifikasi lebih lanjut terhadap unit pengolahan sampah sulit membusuk melalui pengomposan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Peralatan Pengolahan Sampah Mudah Membusuk dengan Teknologi MASARO

Gambar	Kapasitas	Ukuran	Harga
	0,6 ton/bulan	Tinggi: 1,5 m Lebar: 6,5 m Panjang: 5 m	Rp350.000.000
	1,2 ton/bulan	Tinggi: 1,5 m Lebar: 7,5 m Panjang: 12 m	Rp500.000.000
	6,4 ton/bulan	Tinggi: 1,5 m Lebar: 7,5 m Panjang: 12 m	Rp1.100.000.000

Tabel 2. Spesifikasi Peralatan Pengolahan Sampah Sulit Membusuk dengan Teknologi MASARO

Gambar	Kapasitas	Ukuran	Harga
	5 ton/hari	Lebar: 17 m Panjang: 20 m	Rp670.000.000

Untuk pengolahan sampah 100 ton/hari, biaya modal dan operasional, serta pendapatan yang terlibat dirangkum dalam Tabel 3 sebagai komponen pengeluaran dan pemasukan dari pengolahan sampah dengan teknologi MASARO. Hasil perhitungan IRR selama 5 tahun operasi sebesar 96,59% menggambarkan tingginya tingkat pengembalian bunga bila investor berinvestasi di sini. Angka ini menunjukkan bahwa hampir seluruh biaya produksi ditutupi oleh harga jual produk. IRR yang mendekati 100% ini juga menunjukkan bahwa pabrik memiliki manajemen biaya yang efisien dan optimalisasi harga jual produk, sehingga teknologi MASARO amat layak secara ekonomi.

Tabel 3. Pengeluaran dan Pendapatan dari Teknologi MASARO

Komponen Biaya	Nominal (Rp)
Dana Investasi Awal (CAPEX)	54.905.169.038
Total Biaya Operasional (OPEX)	25.376.575.875
Biaya Bahan Baku Total	14.775.000.000
Biaya Tenaga Kerja	3.576.000.000
Biaya Pemeliharaan dan Perbaikan	1.666.197.500
Biaya Pemasaran Produk	3.075.750.000
Biaya Administrasi dan Manajemen	667.220.000
Biaya Energi & Utilitas	408.000.000
Biaya Lainnya (5% dari total OPEX)	1.208.408.375
Total Pendapatan	102.525.000.000
Kompos	28.125.000.000
Pestisida organik	36.000.000.000
Pupuk dan konsentrat pakan organik cair	38.400.000.000

3.2 Analisis Ekonomi dari Toss

Pengukuran kadar air lembab sampah dilakukan setelah proses *bio-drying* hingga hari ke-7 (Brunner *et al.*, 2021). Hal yang harus diperhatikan adalah apabila suhu terlalu tinggi, perlu dilakukan pengadukan timbunan untuk mencegah dekomposisi yang berlebihan (Hernowo *et al.*, 2022; Kasmiarno *et al.*, 2024). Dekomposisi yang berlangsung terlalu lama dapat mengurangi nilai kalor sampah dan mengubahnya menjadi kompos (Yaser *et al.*, 2022). Jika sampah terlalu basah, selain menurunkan nilai kalornya juga menyebabkan pertumbuhan larva belatung. Hasil perhitungan juga menunjukkan penurunan kadar air dari 44% menjadi 23% pada hari ke-7. Kadar air dari pelet yang rendah diperlukan agar pelet menjadi awet, tidak berjamur,

serta tidak menjadi lembek karena basah. Pelet yang baik memiliki bentuk padat silinder keras dengan diameter 10 mm dan panjang antara 10-40 mm, kadar air 10-15%, dan densitas 0,4-0,5 ton/m³.

Beberapa parameter pada pelet TOSS ini (Tabel 4) belum memenuhi syarat SNI 8966:2021 (Brunner *et al.*, 2021). Beberapa jenis biomassa belum memenuhi standar kadar zat terbang yang mensyaratkan di bawah 75%, beberapa jenis biomassa juga belum memenuhi standar kadar abu yang mensyaratkan di bawah 25%, nilai kalor bakar dari seluruh jenis biomassa belum dapat memenuhi standar yang mensyaratkan lebih tinggi dari 4777 kkal/kg, dan sisanya dapat memenuhi standar seluruh kelas.

Jika semua sampah di TPA Jawa Barat diubah menjadi listrik, maka potensi energi yang diestimasi adalah 279.900 MWh per tahun. Jika pembangkit digunakan untuk beban dasar, kapasitasnya adalah 32,4 MW. Jika pembangkit beroperasi pada puncak, maka kapasitas potensialnya adalah 129,6 MW (Legino *et al.*, 2019). Potensi penghematan konsumsi batubara melalui substitusi pelet TOSS akan dihitung dengan menggunakan nilai yang setara dengan lignit sebagai tingkat batubara terendah. Nilai kalor lignit akan diambil sebesar 3800 kkal/kg dan nilai kalor rata-rata pelet TOSS sebesar 3000 kkal/kg. Dengan kata lain, rasio pelet TOSS terhadap batubara (p) adalah 1,3. Dari sudut pandang perusahaan pembangkit listrik, pelet TOSS masih ekonomis jika harga 1,3 ton pelet lebih rendah daripada harga 1 ton batubara. Jika harga batubara rendah adalah Rp4500 per kg, maka harga pelet sekitar Rp3500 per kg.

Pendapatan berasal dari penjualan pelet. Untuk mengolah 100 ton/hari sampah, maka biaya modalnya dihitung Rp10.000.000.000 dan biaya operasional yang mencapai kira-kira 50% biaya modal. Biaya penjualan produk pelet selama 1 tahun mencapai Rp12.775.000.000. Dari perhitungan, IRR selama 5 tahun operasi sekitar 46,99%, yang juga masih lebih tinggi dari tingkat diskonto yang digunakan (10%) sehingga secara ekonomi adalah menarik dan layak (Turton *et al.*, 2009). Walaupun TOSS memiliki IRR yang lebih rendah daripada MASARO, produk peletnya berpotensi digunakan sebagai substitusi batubara dan dapat mengurangi penggunaan sumber daya fosil. Pada akhirnya, perbandingan dari teknologi MASARO dan TOSS dirangkum dalam Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Analisis Proksimat Berbagai Varian Pelet TOSS

Jenis Sampah	Kadar Air (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Tetap (%)	Kadar Abu (%)	KadarSulfur (%)	Nilai Kalor (kkal/kg)
Sampah domestik 1	15,2	43,4	10,2	31,0	0,16	2922
Sampah domestik 2	14,7	50,4	11,4	23,3	0,15	3555
Ilalang	12,3	59,1	13,9	14,6	0,15	3237
Rerumputan	12,6	55,0	14,7	17,6	0,21	3259
Serbuk kayu jati	6,0	79,8	12,6	1,5	0,06	4624
Sekam	7,2	55,8	11,9	24,6	0,51	3225
Sampah domestik	5,6	49,1	7,8	37,5	0,14	3178
Kelapa	8,7	54,6	21,4	15,2	0,13	3766
Bambu	6,5	55,1	11,6	26,7	0,15	3261
Mangga	9,0	67,6	12,6	10,8	0,08	3457
Eceng gondok	9,1	62,9	12,2	15,7	-	3330
Biomassa	10,4	68,1	12,5	9,1	-	3970

Tabel 5. Rangkuman Kinerja Pengolahan Sampah dengan Teknologi MASARO dan TOSS

Parameter Perbandingan	MASARO	TOSS
Kapasitas pengolahan	100 ton/hari	100 ton/hari
Waktu proses	Total 28 hari	Total 7-10 hari
Reduksi sampah	100%	100%
Perlu TPA	Tidak	Tidak
Produk yang dihasilkan	Pupuk dan konsentrat pakan organik cair, kompos, dan pestisida organik	Pelet bahan bakar
CAPEX	Rp54.905.169.038	Rp10.000.000.000
OPEX	Rp25.376.575.875	Rp5.000.000.000
Pendapatan	Rp102.525.000.000	Rp12.775.000.000
IRR selama 5 tahun operasi	96,59%	46,99%

4. KESIMPULAN

Studi ini telah berhasil mengkaji perbandingan teknologi pengolahan sampah di Jawa Barat melalui teknologi MASARO dan TOSS. Keduanya memiliki kinerja yang baik, potensi yang menjanjikan, dan keekonomian yang layak. MASARO mengolah seluruh sampah namun produk pupuk dan konsentrat pakan organik cair yang paling mendongkrak keekonomian proses karena IRR nya bisa mencapai 96,59%. Sementara itu, TOSS juga memberikan produk pengolahan sampah berupa pelet yang dapat digunakan dalam pembangkit sebagai pengganti batubara. Analisisnya juga memberikan kelayakan ekonomi karena IRR nya mencapai 46,99%. Melihat kedua teknologi ini, MASARO lebih mengarah pada produk pupuk dan konsentrat yang dalam jangka panjang dapat mengarah pada keberlanjutan pertanian dan peternakan, sedangkan TOSS dalam jangka panjang dapat menjadi alternatif pengolahan sampah yang produknya bisa menggantikan ketergantungan pada sumber daya fosil, dalam hal ini adalah batubara.

PERSANTUNAN

Soen Steven mengucapkan terima kasih kepada Skema *Postdoctoral* di Pusat Riset Sistem Produksi Berkelanjutan dan Penilaian Daur Hidup (PRSPBPDH) di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia 2024-2025.

DATAR PUSTAKA

Abidin, A. Z., Bramantyo, H., Baroroh, M. K., & Egiyawati, C. (2021). Circular Economy on Organic Waste Management with MASARO Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1143(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1143/1/012051>

Abidin, A. Z., Choliq, N. S., Yemensia, E. V., & Hastuti, R. (2020). Study on Environmental Health Aspect of Plastic Refinery in MASARO Cirebon Unit in Indonesia. *4th International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA)*, 116–120. <https://doi.org/10.1109/ICGEA49367.2020.239716>

Abidin, A. Z., Steven, S., Rambe, S., Matin, A., Yemensia, E. V., Sari, D. A., & Putra, R. P. (2024). Application of Special Liquid Fertilizer from Organic Wastes to Promote Growth and Productivity of Red Chilli Plants (*Capsicum annum L.*). *Jurnal Teknologi*, 86(3), 79–90. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v86.21200>

Abidin, A. Z., Steven, S., Sirait, A. S., Sianturi, B. N. B., Yemensia, E. V., Suyadi, M. M. A., Soekotjo, E. S. A., Matin, A., & Putra, R. P. (2024). Comparative Analysis of Waste Management between Masaro and Refuse-Derived Fuel (RDF) Technologies in West Java. *E3S Web of Conferences*, 519(1), 04004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451904004>

Abidin, A. Z., Yemensia, E. V., Wijaya, K. W., & Rahardjo, A. P. (2021). Circular Economy on Non-Biodegradable Waste Management with MASARO Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1143(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1143/1/012052>

Basu, P. (2013). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction. In *Academic Press*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07564-6>

BPS Indonesia. (2023a). Directory of Energy Mining Companies in West Java Province. In *Statistics Indonesia*. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat.

BPS Indonesia. (2023b). Mining Statistics of Non-petroleum and Natural Gas. In *Statistics Indonesia*. Badan Pusat Statistik.

BPS Indonesia. (2023c). Statistical Yearbook of Indonesia. In *Statistics Indonesia*.

Brunner, I. M. I. M., Norhidayat, A., & Brunner, S. M. (2021). Pengolahan Sampah Organik dan Limbah Biomassa dengan Teknologi Olah Sampah di Sumbernya. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(3). <https://doi.org/10.32672/jse.v6i3.3120>

Febijanto, I., Steven, S., Nadirah, N., Bahua, H., Shoiful, A., Dian P. Dewanti, I P. Angga Kristyawan, Khalda A. Haris, Yuliani, M., Hanif, M., Muhammad H. Robbani, Naufal R. Yusuf, Prihartanto, Alfatri, P., Reba A. Pratama, Purwanta, W., Wiharja, Nugroho, R., & Satria K. Ramadhan. (2024). Municipal Solid Waste (MSW) Reduction through Incineration for Electricity Purposes and Its Environmental Performance: A Case Study in Bantargebang, West Java, Indonesia. *Evergreen*, 11(1), 32–45. <https://doi.org/10.5109/7172186>

Hernowo, P., Steven, S., Maulidin, M., Arumsari, A. G., Bindar, Y., Syauket, A., Saraswati, K. R., & Rukmayadi, D. (2024). Thermokinetic study of coconut husk pyrolysis in the devolatilization zone using volatile state approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*.

- <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05706-y>
- Hernowo, P., Steven, S., Restiawaty, E., & Bindar, Y. (2022). Nature of mathematical model in lignocellulosic biomass pyrolysis process kinetic using volatile state approach. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 139, 104520. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2022.104520>
- ITB. (2021). Pengelolaan Sampah Organik dengan Metode Masaro ITB. In *Media Indonesia Rubrik Rekacipta ITB*. Media Indonesia Rubrik Rekacipta ITB.
- Kasmiarno, L. D., Panannangan, J. K., Steven, S., Rizkiana, J., Hernowo, P., Achmad, F., Muraza, O., Prakoso, T., Istyami, A. N., Pratiwi, M., Aqsha, A., & Bindar, Y. (2024). Exploration of bio-hydrocarbon gases production via pyrolysis of fresh natural rubber: Experimental and volatile state kinetic modeling studies. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 177, 106275. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.106275>
- Legino, S., Hidayawanti, R., & Wirantika, I. (2019). Waste as fastest cycle of renewable energy sources through TOSS Model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1282(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012041>
- Putri, A. H. I., Steven, S., Oktavia, F. D., Restiawaty, E., Adilina, I. B., Safaat, M., Hernowo, P., Prakoso, T., Istyami, A. N., Pratiwi, M., & Bindar, Y. (2024). Pyrolysis of macroalgae residue from the agar industry for silica-rich biochar and other sustainable chemicals: Process performances, product applications, and simple business scenario. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18(2), 391–409. <https://doi.org/10.1002/bbb.2597>
- SIPSN. (2023). Waste pile amount in West Java. In *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. KemenLHK. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbangan>
- Steven, S., Dwiputra, G. A., Affan, M. K. A., Soekotjo, E. S. A., Syamsudin, E., Nadirah, N., Sasongko, N. A., Yemensia, E. V., & Abidin, A. Z. (2024). Combination of waste processing between MASARO plastic refinery unit and maggots technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1344(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1344/1/012023>
- Steven, S., Nugraha, P. Z., Hernowo, P., Oktavia, F. D., Putri, A. H. I., & Bindar, Y. (2024). Investigation of high water content in bio-crude oil (BCO) produced from empty oil palm fruit bunches pyrolysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05297-8>
- Trirahayu, D. A., Abidin, A. Z., Putra, R. P., Hidayat, A. S., Safitri, E., & Perdana, M. I. (2022). Process Simulation and Design Considerations for Biodiesel Production from Rubber Seed Oil. *Fuels*, 3(4), 563–579. <https://doi.org/10.3390/fuels3040034>
- Trirahayu, D. A., Abidin, A. Z., Putra, R. P., Putri, F. D., Hidayat, A. S., & Perdana, M. I. (2023). Process Assessment of Integrated Hydrogen Production from By-Products of Cottonseed Oil-Based Biodiesel as a Circular Economy Approach. *Hydrogen*, 4(2), 272–286. <https://doi.org/10.3390/hydrogen4020019>
- Turton, R., Bailie, R. C., Witing, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2009). Profitability Analysis. In *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes, Third Edition* (pp. 297–360). Pearson Education, Inc.
- Winanti, W. S., Purwanta, W., & Wiharja. (2022). Utilization of municipal solid waste into electricity energy: A performance of PLTSa Bantargebang pilot project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1034(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1034/1/012003>
- Yaser, A. Z., Lamaming, J., Suali, E., Rajin, M., Saalah, S., Kamin, Z., Safie, N. N., Aji, N. A. S., & Wid, N. (2022). Composting and Anaerobic Digestion of Food Waste and Sewage Sludge for Campus Sustainability: A Review. *International Journal of Chemical Engineering*, 2022, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2022/6455889>
- Yemensia, E. V., Steven, S., Soekotjo, E. S. A., & Abidin, A. Z. (2023). Prospect and application of flue gas washing liquid from wet scrubber unit at Masaro plastic refinery for organic pesticides. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1268(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1268/1/012040>
- Yuliani, M., Otvriyanti, G., Yusuf, N. R., Fani, A. M., & Purwanta, W. (2022). A Techno-Economic Study on the Application of Waste-to-Energy Incinerator in Indonesia (Case on City “X”). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 126–134. <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i2.5302>