

# Potensi Ekonomi Pirolisis Sampah Plastik untuk Pengelolaan Berkelanjutan: Studi Kasus Plastik Pembungkus Paket

Mega Muriara Sari<sup>1\*</sup>, Iva Yenis Septiariva<sup>2</sup>, Rofiah<sup>1</sup>, I Wayan Koko Suryawan<sup>1</sup>, dan Sapta Suhardono<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina, Indonesia; e-mail: [mega.ms@universitaspertamina.ac.id](mailto:mega.ms@universitaspertamina.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Ilmu Lingkungan, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

## ABSTRAK

Ketidakpedulian terhadap pencemaran sampah plastik telah mendorong eksplorasi teknologi pengelolaan limbah inovatif, seperti pirolisis plastik. Penelitian ini menyajikan analisis ekonomi dari pirolisis sampah plastik, dengan fokus pada plastik pembungkus paket, sebagai solusi potensial untuk pengelolaan limbah berkelanjutan. Melalui evaluasi komprehensif terhadap biaya, pendapatan, dan manfaat, penelitian ini menilai kelayakan ekonomi teknologi pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ekonomi saat ini yang dihasilkan dari pengolahan sampah plastik dengan pirolisis masih di bawah batas keuntungan yang signifikan. Kesimpulan ini didasarkan pada rasio *Benefit Cost Ratio* (BCR) yang kurang dari 1. Penelitian ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan efisiensi operasional, kapasitas reaktor, dan bahan baku untuk meningkatkan prospek ekonomi pirolisis sampah plastik. Penelitian ini berkontribusi pada wacana lebih luas mengenai pengelolaan sampah plastik dan memberikan wawasan bagi pengembangan lebih lanjut teknologi pirolisis dalam mencapai tujuan pengelolaan limbah berkelanjutan.

**Kata kunci:** sampah plastik, pirolisis, analisis ekonomi, pengelolaan berkelanjutan, plastik pembungkus paket, Benefit Cost Ratio (BCR), teknologi pengelolaan limbah

## ABSTRACT

The increasing concern over plastic waste pollution has led to exploring innovative waste management technologies, such as plastic pyrolysis. This study presents an economic analysis of plastic waste pyrolysis, focusing on packaging plastics, as a potential solution for sustainable waste management. Through a comprehensive evaluation of costs, revenues, and benefits, the study assesses the economic viability of pyrolysis technology. The results indicate that the current economic value derived from processing plastic waste using pyrolysis is still below a significant profit margin. This conclusion is drawn based on the benefit-cost ratio (BCR) being below 1. The study underscores the importance of considering operational efficiency, reactor capacity, and input materials to enhance the economic prospects of plastic waste pyrolysis. This research contributes to the broader discourse on plastic waste management and offers insights for further developing pyrolysis technology in achieving sustainable waste management goals.

**Keywords:** plastic waste, pyrolysis, economic analysis, sustainable management, packaging plastics, Benefit Cost Ratio (BCR), waste management technology

**Citation:** Sari, M.M., Septiariva, I.Y., Rofiah, R., Suryawan, I.W.K., dan Suhardono, S. (2024). Potensi Ekonomi Pirolisis Sampah Plastik untuk Pengelolaan Berkelanjutan: Studi Kasus Plastik Pembungkus Paket. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 941-950, doi:10.14710/jil.22.4.941-950

## 1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan bahan yang telah menjadi bagian integral dalam kehidupan modern, namun juga telah mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan. Penggunaan plastik yang meluas dan rendahnya tingkat daur ulang menyebabkan akumulasi sampah plastik yang mengancam ekosistem laut dan daratan (Bening et al. 2021; Mugilarasan et al. 2021). Pencemaran plastik juga merusak keindahan lingkungan, mengganggu

ekosistem, serta mengancam keberlanjutan bahan pangan dan air (Jambeck et al. 2015; Sari et al. 2022). Salah satu alternatif yang tengah dipelajari untuk mengatasi masalah sampah plastik adalah melalui teknologi pirolisis plastik. Pirolisis adalah proses termokimia yang mengubah sampah plastik menjadi produk berupa minyak bakar, gas, dan residu padat (Ristianingsih et al. 2015; Sari et al. 2023a). Teknologi ini menjanjikan potensi untuk mengurangi volume sampah plastik dan menghasilkan bahan

bakar alternatif yang dapat dimanfaatkan. Namun, sebelum teknologi ini diimplementasikan secara luas, diperlukan analisis ekonomi yang komprehensif untuk memastikan kelayakan ekonomi dan keberlanjutan dari penggunaan teknologi pirolisis ini.

Studi ini memiliki hubungan yang erat dengan pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan adalah konsep yang menekankan pada upaya menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan sosial, dan perlindungan lingkungan (Sianipar et al. 2022; Suryawan and Lee 2023a, b). Studi ini berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan melalui analisis ekonomi teknologi pirolisis dalam pengolahan sampah plastik, khususnya plastik pembungkus paket. Pertama-tama, pengelolaan limbah plastik merupakan salah satu aspek penting dari pembangunan berkelanjutan. Dengan semakin meningkatnya konsumsi plastik dan volume limbah plastik yang dihasilkan, penting untuk mencari solusi yang dapat mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan (Sari et al. 2023a). Teknologi pirolisis, yang mampu mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif, dapat mengurangi volume limbah plastik dan potensinya mengurangi dampak pencemaran. Analisis ekonomi yang dilakukan dalam studi ini akan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang kelayakan ekonomi dari penggunaan teknologi pirolisis plastik pembungkus paket. Dengan menilai biaya, pendapatan, dan manfaat yang terkait dengan teknologi ini, studi ini dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang berkelanjutan dalam hal pengelolaan limbah plastik. Dengan mengurangi pencemaran lingkungan dan ancaman terhadap keanekaragaman hayati, penggunaan teknologi pirolisis dapat memberikan manfaat sosial yang signifikan.

Meskipun telah ada beberapa penelitian mengenai penggunaan teknologi pirolisis untuk mengolah sampah plastik, banyak dari penelitian tersebut masih bersifat umum dan belum mendalam dalam aspek ekonomi (Fernandes et al. 2013; Zhao et al. 2014; Ristianingsih et al. 2015). Analisis ekonomi yang mendalam tentang teknologi pirolisis, terutama yang terkait dengan jenis plastik tertentu seperti plastik pembungkus paket, masih sangat dibutuhkan. *Novelty* dari penelitian ini terletak pada fokus analisis ekonomi yang mendalam terhadap teknologi pirolisis plastik pembungkus paket. Sedikit penelitian yang telah dilakukan dalam hal ini, oleh karena itu penelitian ini akan mengisi celah pengetahuan tersebut. Kajian ekonomi yang akan dilakukan mencakup analisis biaya, pendapatan, dan manfaat dari penggunaan teknologi pirolisis untuk mengolah sampah plastik jenis ini. Diharapkan temuan dari penelitian ini dapat memberikan wawasan baru mengenai potensi ekonomi dari pirolisis plastik pembungkus paket.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis ekonomi yang mendalam terhadap teknologi pirolisis plastik pembungkus

paket. Melalui analisis biaya, pendapatan, dan manfaat, penelitian ini akan menilai kelayakan ekonomi dari penggunaan teknologi pirolisis untuk mengolah sampah plastik jenis ini. Diharapkan temuan dari penelitian ini dapat memberikan panduan dan informasi yang berguna dalam pengambilan keputusan mengenai pengelolaan sampah plastik dan penerapan teknologi pirolisis dalam upaya mencapai pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tahapan penelitian yang terstruktur untuk menganalisis data pengumpulan timbulan sampah, melakukan analisis data melalui literatur review, dan menghitung *Benefit Cost Ratio* (BCR). Dalam metode penelitian ini, BCR dihitung untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari penggunaan teknologi pirolisis dalam pengolahan sampah plastik. BCR adalah metode perhitungan ekonomi yang membandingkan nilai sekarang dari manfaat (benefits) yang diperoleh dengan nilai sekarang dari biaya (costs) yang dikeluarkan. Formula untuk menghitung BCR adalah sebagai berikut (Persamaan 1):

$$BCR = \frac{\text{Nilai Sekarang dari Manfaat (NPV of Benefits)}}{\text{Nilai Sekarang dari Biaya (NPV of Costs)}} \quad (1)$$

Dimana:

Nilai Sekarang dari Manfaat (*NPV of Benefits*) merupakan total penerimaan atau pendapatan yang didiskontokan ke nilai saat ini.

Nilai Sekarang dari Biaya (*NPV of Costs*) merupakan total biaya, termasuk investasi awal dan biaya operasional yang didiskontokan ke nilai saat ini.

Pendiskontoan dilakukan menggunakan tingkat suku bunga atau tingkat diskonto yang sesuai dengan kondisi ekonomi saat ini atau tingkat pengembalian yang diharapkan. Untuk menganalisis data timbulan sampah, penelitian ini mengumpulkan data kuantitatif melalui pengukuran langsung di lapangan dan mencatat volume sampah yang dihasilkan dalam periode tertentu. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan pola dan tren timbulan sampah.

Analisis data melalui literatur review melibatkan pengumpulan data sekunder dari publikasi ilmiah dan sumber terpercaya lainnya yang berkaitan dengan pengolahan sampah plastik dan teknologi pirolisis. Review ini membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keefektifan teknologi pirolisis dan memberikan konteks untuk analisis BCR. Selanjutnya, evaluasi ekonomi yang menggunakan BCR akan mengukur apakah investasi dalam teknologi pirolisis menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Jika BCR lebih besar dari satu, ini menunjukkan bahwa manfaat ekonomi dari proyek melebihi biaya, sehingga proyek tersebut dianggap layak secara

ekonomi. Metode ini penting untuk menjamin bahwa alokasi sumber daya untuk proyek pengolahan sampah plastik dilakukan secara efisien dan memberikan keuntungan maksimal.

Dalam penelitian yang dilaksanakan dari Januari hingga April 2022, asumsi yang digunakan adalah bahwa kondisi ekonomi dan operasional yang relevan dengan studi ini belum mengalami perubahan yang berarti. Justifikasi untuk asumsi ini didasarkan pada beberapa faktor.

Pertama, indikator ekonomi makro seperti inflasi, suku bunga, dan nilai tukar mata uang, yang dapat mempengaruhi analisis biaya-manfaat, tidak menunjukkan fluktuasi signifikan dalam periode singkat yang dapat merubah kesimpulan ekonomi penelitian secara fundamental. Kedua, dalam konteks operasional, tidak terdapat perubahan kebijakan, teknologi, atau praktik pengelolaan sampah yang signifikan yang diperkirakan dapat mempengaruhi volume sampah atau biaya operasional dalam kurun waktu yang singkat. Ketiga, kondisi pasar untuk produk-produk hasil daur ulang atau energi yang dihasilkan dari proses pirolisis cenderung stabil atau berubah secara gradual, tidak dengan perubahan drastis yang dapat mempengaruhi analisis secara signifikan dalam jangka waktu pendek.

### 2.1. Pengumpulan Data Timbulan Sampah Plastik

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan data timbulan sampah plastik. Data ini sangat penting karena menjadi dasar dalam melakukan analisis terhadap potensi penggunaan teknologi pirolisis dalam pengolahan sampah plastik. Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan di lokasi penelitian, yaitu area yang menghasilkan sampah plastik. Sampah plastik yang diidentifikasi mencakup plastik pembungkus paket dari berbagai jenis usaha, seperti toko buku, toko souvenir, toko elektronik, dan toko kosmetik. Data yang dikumpulkan meliputi jenis plastik, volume, dan frekuensi timbulan.

Pada tahap pengambilan sampel, digunakanlah rumus Slovin untuk menentukan besaran sampel yang tepat. Rumus Slovin merupakan metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung jumlah sampel minimum yang dapat mewakili seluruh populasi dengan baik. Tujuan utama penggunaan rumus Slovin adalah untuk memperoleh jumlah sampel yang mewakili dengan baik saat proses pengambilan sampel dilakukan, sambil tetap menjaga prosedur perhitungan agar sederhana dan mudah dipahami

(Ulhasanah and Goto 2018; Suryawan and Lee 2023a). Secara sederhana, rumus Slovin dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$n = N / (1 + (N \times e^2)) \quad (2)$$

Dimana:

n: besaran sampel

N: besaran populasi

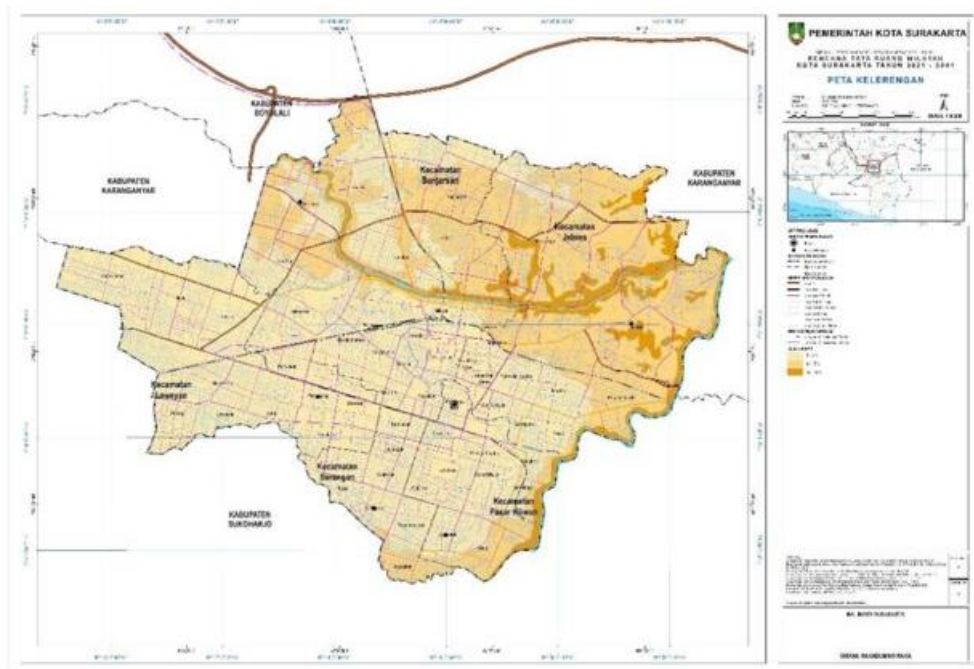
e: persentase tingkat kesalahan

Dalam konteks penelitian ini, diperlukan data mengenai timbulan sampah plastik bubble wrap dan plastik kemasan. Oleh karena itu, lokasi pengambilan sampel dipilih dari berbagai jenis toko di Kota Surakarta yang melakukan penjualan baik secara fisik maupun online. Jenis toko yang termasuk dalam kriteria ini antara lain toko buku, toko souvenir, toko elektronik, dan toko kosmetik. Berdasarkan hasil survei, jumlah total populasi toko adalah sebanyak 146. Persentase tingkat kesalahan yang dipilih untuk perhitungan adalah 20%, sehingga didapatkan besaran sampel sebanyak 21 toko.

### 2.2 Analisis Potensi Penggunaan Teknologi Pirolisis

Setelah data timbulan sampah dan informasi dari literatur review dianalisis, peneliti akan mengidentifikasi potensi penggunaan teknologi pirolisis dalam pengolahan sampah plastik pembungkus paket. Teknologi pirolisis merupakan metode yang dapat mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif, seperti minyak pirolisis, yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Peneliti akan mengevaluasi jenis plastik yang sesuai untuk diolah melalui teknologi ini, serta menghitung potensi produksi bahan bakar dari plastik tersebut.

Salah satu aspek penting dalam penelitian ini adalah melakukan perhitungan *Benefit Cost Ratio* (BCR) untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari penggunaan teknologi pirolisis dalam pengolahan sampah plastik. BCR merupakan rasio antara pendapatan yang dihasilkan dengan biaya operasional yang dikeluarkan. Dalam perhitungan ini, peneliti akan mengidentifikasi semua biaya operasional yang terkait dengan teknologi pirolisis, seperti biaya listrik, bahan bakar gas, dan penggunaan air. Pendapatan yang dihasilkan berasal dari penjualan bahan bakar hasil pirolisis.



Gambar 1. Lokasi Studi di Kota Surakarta (BAPPEDA Kota Surakarta 2020)

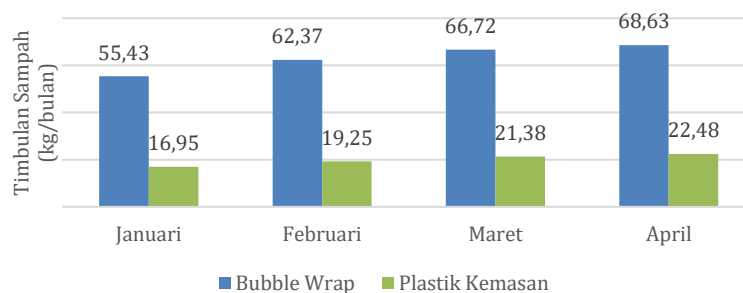
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pengaruh variabel

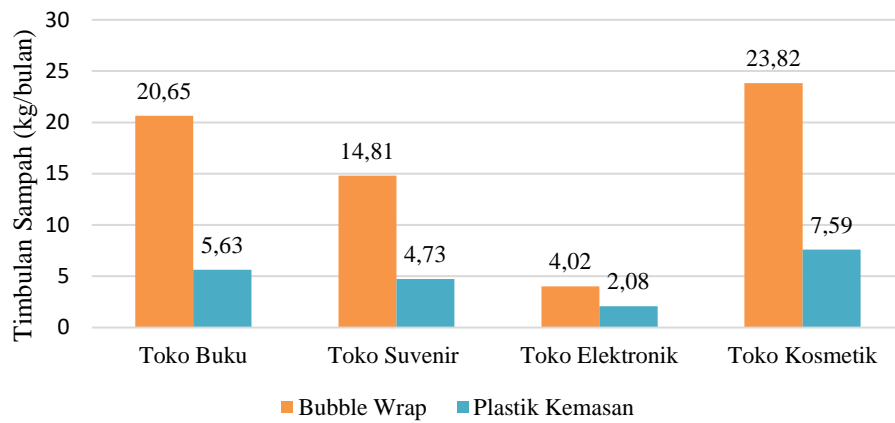
Data timbulan berfungsi untuk mengidentifikasi volume awal dari plastik pembungkus yang digunakan oleh paket di Surakarta sebelum proses pengolahan dengan teknologi pirolisis diterapkan. Sumber data mengenai timbulan plastik pembungkus ini berasal dari catatan sekunder yang diperoleh dari sejumlah toko yang menjadi titik sampel. Proses pengumpulan data ini dilaksanakan selama periode empat bulan, yaitu mulai dari Januari hingga April 2022. Dalam studi ini, toko-toko yang menjadi titik sampel adalah mereka yang memiliki operasional penjualan secara online. Plastik yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah plastik jenis bubble wrap dan plastik kemasan paket. Secara total, ada 21 toko di Surakarta yang menjadi lokasi sampling, yang mencakup toko buku, toko souvenir, toko elektronik, dan toko kosmetik. Alasan pemilihan toko-toko tersebut adalah untuk memudahkan proses pengumpulan data mengenai timbulan plastik bubble wrap dan plastik kemasan. Berdasarkan data yang terkumpul, timbulan plastik pembungkus menunjukkan trend kenaikan dari bulan ke bulan. Untuk plastik bubble wrap, timbulan sampahnya

meningkat dari 55,43 kg/bulan di Januari menjadi 68,63 kg/bulan di April. Sementara itu, untuk plastik kemasan, kenaikannya dimulai dari 16,95 kg/bulan di Januari hingga mencapai 22,48 kg/bulan di April (Gambar 2).

Kenaikan tersebut, dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah adanya hari belanja nasional yang memberikan diskon melalui platform e-commerce setiap bulannya (Escursell et al. 2021; Peng et al. 2021). Selain itu, sebuah riset yang dilakukan oleh Snapcart pada tahun 2022 menemukan bahwa sekitar 80% masyarakat generasi Z untuk berbelanja secara online (Dewi et al. 2021), terutama ketika ada promo gratis pengiriman barang selama bulan Ramadhan. Ini menunjukkan bahwa promosi dan insentif seperti potongan harga dan gratis ongkos kirim dapat memacu penjualan online, yang pada akhirnya dapat meningkatkan penggunaan plastik pembungkus paket (Raab et al. 2023). Dengan data timbulan yang telah dikumpulkan setiap bulannya, analisis lebih lanjut dilakukan untuk menghitung rata-rata timbulan dari setiap toko, dengan tujuan mengidentifikasi jenis toko mana yang menjadi sumber timbulan sampah terbanyak, sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Timbulan Plastik Pembungkus Paket pada Bulan Januari – April 2022



**Gambar 3.** Timbulan Plastik Pembungkus Paket pada Lokasi Sampling

Sampah plastik tipe LDPE yang umumnya digunakan sebagai pembungkus paket memiliki potensi besar untuk diubah menjadi bahan bakar melalui proses pirolisis. Teknologi pirolisis memberikan alternatif lain selain daur ulang dalam upaya mengurangi volume sampah plastik. Untuk menghitung potensi reduksi plastik pembungkus dengan pirolisis, data yang digunakan meliputi rendemen hasil pirolisis dan proporsi komposisi hidrokarbon, kemudian dihitung berdasarkan jumlah timbulan sampah plastik setiap bulannya. Sebagai contoh, dari data yang ada, rata-rata timbulan sampah plastik pembungkus dari toko kosmetik adalah 31,41 kg/bulan. Dari hasil pengumpulan sampel, plastik jenis *bubble wrap* memiliki timbulan sekitar 23,83 kg/bulan, sementara plastik kemasan sekitar 27,59 kg/bulan. Gambar 4 menunjukkan potensi reduksi sampah plastik LDPE setelah diproses dengan pirolisis.

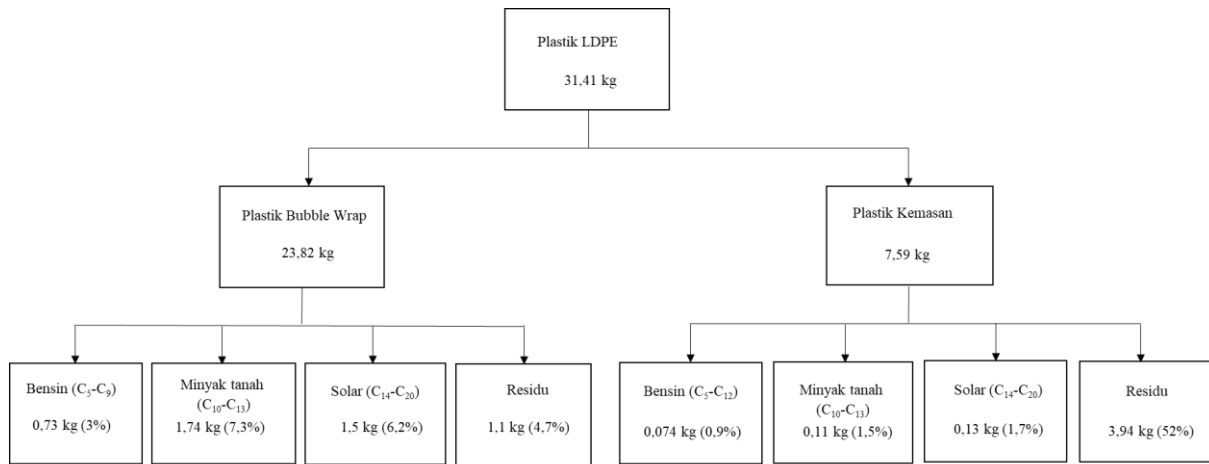
Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa pirolisis mampu mengkonversi sekitar 19% dari plastik bubble wrap menjadi bahan bakar, dengan sisanya, sekitar 81%, menjadi residu dan gas. Sementara untuk plastik kemasan, pirolisis hanya mampu mengkonversi sekitar 4,3% menjadi bahan bakar, dengan 95,7% sisanya menjadi residu dan gas yang tidak dapat dikondensasi (Sari et al. 2023a). Salah satu penyebab rendahnya konversi ini adalah hasil dominan dari proses pirolisis adalah gas dan residu dalam bentuk wax. Meskipun potensi konversi sampah plastik menjadi bahan bakar relatif kecil, hal ini tetap menawarkan solusi untuk mengurangi volume sampah plastik yang dibuang ke TPA. Melalui perhitungan, diketahui bahwa dari total timbulan sampah plastik pembungkus di Surakarta, sebesar 83,3 kg/bulan, pirolisis mampu mengurangi sekitar 31,41 kg/bulan. Ini menghasilkan potensi reduksi sampah plastik sebesar 37,7%.

Gambar 4 menunjukkan potensi reduksi sampah plastik menjadi bahan bakar melalui teknologi pirolisis. Diagram tersebut menunjukkan bahwa pirolisis mampu mengubah plastik bubble wrap sebanyak 19% menjadi bahan bakar, sementara 81% sisanya bertransformasi menjadi residu dan gas.

Untuk plastik kemasan, pirolisis hanya dapat mengkonversi 4,3% menjadi bahan bakar, dengan sisanya, sebanyak 95,7%, berupa residu dan gas yang tidak dapat dikondensasi. Hasil ini menunjukkan bahwa konversi sampah plastik menjadi bahan bakar melalui pirolisis masih memiliki keterbatasan. Salah satu faktor utamanya adalah produk dominan dari pirolisis adalah gas dan residu seperti wax, bukan bahan bakar. Namun, meski potensinya terbatas, pirolisis tetap menawarkan solusi alternatif dalam pengelolaan sampah plastik.

Dari keseluruhan sampah plastik pembungkus di Kota Surakarta, yang mencapai 83,3 kg/bulan, pirolisis dapat mengurangi sebanyak 31,41 kg/bulan. Berdasarkan data ini, dapat dihitung bahwa potensi reduksi sampah plastik melalui pirolisis adalah sekitar 37,7%. Penting untuk dicatat bahwa membuang sampah plastik ke TPA tidak hanya berdampak negatif terhadap lingkungan, namun juga merupakan pemborosan potensi nilai ekonomi. Dengan pirolisis, plastik yang seharusnya menjadi limbah dapat dikonversi menjadi bahan bakar yang memiliki nilai ekonomi dan dapat dimanfaatkan kembali oleh masyarakat. Ini menunjukkan bahwa teknologi pirolisis dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam pengelolaan sampah plastik di masa depan.

Sampah plastik jenis LDPE, khususnya *bubble wrap* dan plastik kemasan, menjadi fokus dalam penelitian ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua jenis plastik tersebut memiliki potensi untuk dijadikan bahan bakar (Suryawan et al. 2022; Zahra et al. 2022). Proses pirolisis menghasilkan hidrokarbon cair sebagai produk utama yang berasal dari plastik saat diproses pada kondisi suhu dan tekanan normal. LDPE merupakan plastik yang sesuai untuk dijadikan bahan baku bahan bakar, mengingat kemampuannya untuk mengalami dekomposisi termal (Bu et al. 2019; Jangid et al. 2022). Polietilen, yang merupakan polimer utama plastik ini, terutama terdiri dari unsur karbon dan hidrogen (Gala et al. 2020; Fan et al. 2022; Fu et al. 2023). Kedua unsur ini memiliki nilai kalorif yang tinggi, menjadikannya bahan baku yang ideal untuk produksi bahan bakar (Sari et al. 2023b).



Gambar 4. Reduksi Timbulan Sampah Plastik LDPE dalam kg/bulan

Tabel 1. Perkiraan Potensi Minyak Produk Pirolisis

Bulan	Jenis Plastik		Volume Pirolisis	
	Sampah <i>Bubble wrap</i> (kg)	Sampah Kemasan (kg)	Produk <i>Bubble wrap</i> (L)	Produk <i>Bubble wrap</i> (L)
Satu bulan	23,82	7,59	16,30	0,65
Dua bulan	47,64	15,18	32,6	1,30
Tiga bulan	71,46	22,77	48,9	1,95

Tabel 2. Perolehan Volume Minyak sesuai Jenis Bahan Bakar

Sampel	Jenis Bahan Bakar	Volume Produk Pirolisis (L)	% Fraksi Hidrokarbon	Volume Bahan Bakar (L)
Plastik <i>bubble wrap</i>	Bensin		8,14	1,32
	Minyak tanah	16,3	19,23	3,13
	Solar		16,65	2,71
Plastik kemasan	Bensin		11,61	0,07
	Minyak tanah	0,65	18,23	0,11
	Solar		19,67	0,13

Data menunjukkan bahwa timbulan sampah plastik tertinggi dalam sebulan berasal dari toko kosmetik, dengan berat bubble wrap mencapai 23,82 kg dan plastik kemasan sekitar 7,59 kg. Dari perspektif hasil pirolisis, 105 gr sampah plastik bubble wrap dapat menghasilkan minyak sekitar 72 ml (Sari et al. 2023a). Sementara itu, dari 250 gr plastik kemasan, diperoleh sekitar 23 ml minyak (Sari et al. 2023a). Berdasarkan data timbulan dari toko kosmetik dan hasil dari proses pirolisis, kita dapat mengestimasi volume minyak yang potensial diperoleh dari proses pirolisis setiap bulannya. Estimasi tersebut dijabarkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 memaparkan estimasi volume minyak yang bisa dihasilkan dari produk pirolisis sampah plastik dalam periode tertentu. Dari tabel itu, kita dapat melihat bahwa dalam sebulan, ada potensi produksi minyak dari 23,82 kg plastik bubble wrap dan 7,59 kg plastik kemasan. Dalam skala praktek lapangan, proses pirolisis bisa dilakukan dengan menggunakan reaktor yang mampu menampung 15 kg material per proses (Jamaluddin et al. 2022). Penggunaan reaktor semacam ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses pirolisis, dengan harapan bisa menghasilkan volume minyak yang optimal dari jumlah sampah yang ada. Dari hasil analisis fraksi hidrokarbon, kita mengetahui bahwa baik *bubble wrap* maupun plastik kemasan setelah diolah melalui pirolisis, menghasilkan beberapa fraksi

bahan bakar, seperti bensin, minyak tanah, dan solar. Volume masing-masing fraksi bahan bakar ini, sesuai dengan persentase yang didapat dari analisis, dijabarkan dalam Tabel 2.

Tabel 3 memberikan gambaran mengenai nilai ekonomi yang dapat diperoleh dari hasil pirolisis sampah plastik pembungkus paket berdasarkan produk minyak yang dihasilkan. Dengan mempertimbangkan harga pasaran bahan bakar saat ini, kita dapat mengestimasi pendapatan potensial dari hasil pirolisis tersebut setiap bulannya.

Pendapatan yang dihasilkan dari konversi minyak melalui proses pirolisis dengan jumlah timbulan sebanyak 27,59 kg per bulan mencapai Rp61.610,00. Biaya operasional merujuk pada pengeluaran yang diperlukan untuk menjalankan satu kali proses pirolisis. Dalam perhitungan biaya operasional ini, mencakup penggunaan listrik, bahan bakar gas, dan penggunaan air pada kondensor. Reaktor yang digunakan memiliki kapasitas 10 kg dengan daya sebesar 5 kW. Durasi waktu yang dibutuhkan dalam satu kali proses pirolisis adalah selama 6 jam dengan konsumsi gas sebanyak 3 kg (Jamaluddin et al. 2022). Mengacu pada Tabel 4, terlihat bahwa biaya operasional yang digunakan untuk menjalankan reaktor pirolisis dalam satu proses produksi adalah sebesar Rp23.220,00, dengan referensi dari penelitian oleh Budiprasojo & Pratama (Budiprasojo and Pratama 2016) dan Rahmayetty (Rahmayetty 2021).

**Tabel 3.** Pendapatan Pengolahan Plastik Pembungkus Paket per Bulan

Sampel	Harga/liter (Rp)	Volume Bahan Bakar (L)	Pendapatan per Bulan (Rp)
Plastik <i>bubble wrap</i>	Bensin <sup>[1]</sup>	7.650	10.098
	Minyak tanah <sup>[2]</sup>	11.220	35.118
	Solar <sup>[1]</sup>	5.150	13.956
Sub total			59.172
Plastik kemasan	Bensin <sup>[1]</sup>	7.650	535
	Minyak tanah <sup>[2]</sup>	11.220	1.234
	Solar <sup>[1]</sup>	5.150	669
Sub total			2.438
Total			61.610

Sumber: <sup>[1]</sup> (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia 2022), <sup>[2]</sup> (PT Pertamina 2021)

**Tabel 4.** Nilai Ekonomi Plastik bubble wrap dan kemasan

Sampel	Pendapatan (Rp)	Biaya Operasional (Rp)	Nilai Ekonomi (Rp)
Plastik <i>Pembungkus Paket bubble wrap kemasan</i>	59.172	46.440	12.732
Plastik <i>Pembungkus Paket bubble wrap kemasan</i>	2.438	23.220	-20.782
Total	61.610	69.660	-8.050

Dalam upaya memvalidasi biaya operasional yang digunakan dalam penelitian ini, analisis mendalam terhadap berbagai faktor ekonomi telah dilakukan untuk memastikan bahwa nilai Rp23.220,00 masih relevan dengan kondisi saat ini. Pertama, mengingat bahwa inflasi memiliki dampak langsung pada daya beli dan biaya operasional, laju inflasi yang tercatat sejak tahun referensi penelitian hingga kini telah dihitung untuk menentukan apakah terdapat kenaikan biaya yang harus diperhitungkan. Selain itu, fluktuasi harga komoditas seperti gas dan listrik yang merupakan komponen utama dalam biaya operasional reaktor pirolisis juga telah dianalisis berdasarkan data historis untuk menentukan apakah terjadi kenaikan signifikan yang dapat mempengaruhi biaya operasional.

Perubahan teknologi dan efisiensi operasional juga menjadi faktor penting dalam analisis ini. Kemajuan dalam teknologi pirolisis yang mungkin telah terjadi sejak penelitian terdahulu bisa berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi, yang seharusnya tercermin dalam pengurangan biaya operasional. Disamping itu, skala ekonomi yang mungkin berubah seiring dengan peningkatan kapasitas produksi juga dapat mempengaruhi biaya operasional secara keseluruhan. Analisis ini mencakup evaluasi terhadap kapasitas dan efisiensi reaktor yang digunakan dalam penelitian saat ini dibandingkan dengan yang digunakan dalam referensi sebelumnya.

Biaya operasional yang terlibat dalam proses pirolisis plastik *bubble wrap* mencapai Rp46.440,00 karena melibatkan dua kali operasi, sementara biaya operasional pada pengolahan plastik kemasan sebesar Rp23.220,00 hanya dalam satu kali operasi. Penilaian nilai ekonomi dihitung berdasarkan jumlah produk bahan bakar hasil pirolisis dari plastik pembungkus paket, dengan harga bahan bakar yang disesuaikan dengan jenisnya. Rangkuman perhitungan ekonomi dalam pengolahan sampah plastik bubble wrap dan plastik kemasan dapat ditemukan dalam Tabel 4.

Pada Tabel 5, tercatat bahwa nilai ekonomi dari pengolahan sampah plastik bubble wrap dan plastik kemasan menunjukkan angka -Rp8.050,00. Selain itu, perbandingan nilai manfaat terhadap biaya (*Benefit Cost Ratio* atau BCR) yang dihitung dari pendapatan dan biaya operasional menghasilkan angka 0,88 ( $B/C < 1$ ). Ketika BCR memiliki nilai di bawah 1, hal ini mengindikasikan bahwa usaha tersebut belum menguntungkan untuk dikembangkan. Apabila nilai BCR sama dengan 1, usaha masih memiliki potensi pengembangan, sedangkan jika nilai BCR melebihi 1, usaha dianggap menguntungkan dan layak untuk diteruskan (Adnyana, 2020). Berdasarkan angka BCR yang diperoleh, teknologi pirolisis dengan timbulan sampah sebanyak 31,41 kg per bulan belum memberikan hasil ekonomi yang signifikan. Hasil perhitungan nilai ekonomi dalam penelitian ini sejalan dengan temuan studi terdahulu (Islam et al. 2011; Ghodrat et al. 2019) yang menunjukkan bahwa biaya operasional yang dikeluarkan lebih besar daripada pendapatan yang diperoleh dari teknologi pirolisis.

Untuk meningkatkan hasil ekonomi dalam pengolahan pirolisis, teknologi ini dapat dikembangkan dengan syarat nilai BCR > 1 atau sudah memberikan keuntungan yang cukup. Salah satu cara yang dapat ditempuh adalah dengan menambah jumlah bahan baku pirolisis, yang dapat diambil dari timbulan plastik pembungkus paket yang ada di toko buku, toko souvenir, toko elektronik, dan toko kosmetik. Dengan akumulasi timbulan plastik bubble wrap sebanyak 63,3 kg per bulan dan plastik kemasan sebanyak 20,03 kg per bulan, pengolahan ini dapat dilakukan menggunakan reaktor berkapasitas 75 kg (Sirait et al. 2020). Proses pirolisis dengan reaktor tersebut dapat berlangsung selama 2 jam dengan konsumsi gas LPG sebanyak 6 kg per proses, menghasilkan biaya operasional sekitar Rp53.125,00 beserta biaya penggunaan air. Detail perhitungan rekomendasi untuk meningkatkan nilai ekonomi dalam pengolahan pirolisis menggunakan plastik pembungkus paket dapat ditemukan dalam Tabel 5.

**Tabel 5.** Pendapatan Peningkatan Nilai Ekonomi Plastik Pembungkus Paket

Sampel	Harga/liter (Rp)		Volume Bahan Bakar (L)	Pendapatan (Rp)
Plastik <i>bubble wrap</i>	Bensin <sup>[1]</sup>	7.650	3,5	26.775
	Minyak tanah <sup>[2]</sup>	11.220	8,3	93.126
	Solar <sup>[1]</sup>	5.150	7,2	37.080
Sub total				156.981
Plastik Kemasan	Bensin <sup>[1]</sup>	7.650	0,19	1.453
	Minyak tanah <sup>[2]</sup>	11.220	0,3	3.366
	Solar <sup>[1]</sup>	5.150	0,3	1.545
Sub total				6.364
Total				163.345

Sumber: <sup>[1]</sup>(Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia 2022), <sup>[2]</sup>(PT Pertamina 2021)

Dalam kaitannya dengan analisis ekonomi yang mendalam yang menjadi salah satu keunggulan utama dari penelitian ini, sangatlah penting untuk menggunakan data yang paling terkini dan relevan. Oleh karena itu, penggunaan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia dan PT Pertamina yang berasal dari tahun 2022 dan 2021 perlu diperbarui untuk penelitian selanjutnya. Mengingat bahwa dinamika pasar dan kondisi ekonomi dapat berubah dengan cepat, khususnya dalam hal harga komoditas dan biaya produksi, menggunakan data yang terbaru akan meningkatkan validitas dan relevansi dari hasil analisis ekonomi yang dilakukan.

Peninjauan dan pembaruan data ini membutuhkan akses ke sumber-sumber informasi terkini yang mungkin memerlukan kontak langsung dengan instansi terkait atau melalui data publikasi terbaru yang mereka sediakan. Pembaruan ini tidak hanya akan mencerminkan situasi pasar saat ini, tetapi juga memperkuat integritas penelitian dengan memberikan perkiraan yang lebih akurat mengenai potensi pendapatan dari peningkatan nilai ekonomi plastik pembungkus paket. Selain itu, dengan mengadaptasi data terbaru, penelitian ini akan menunjukkan komitmen terhadap keakuratan dan ketepatan analisis, yang menjadi kunci dalam menghasilkan rekomendasi kebijakan dan praktek bisnis yang dapat diandalkan dan berkelanjutan. Dalam jangka panjang, pendekatan ini akan berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang dampak ekonomi dari daur ulang plastik dan manfaatnya bagi pengembangan ekonomi sirkular.

Dalam penelitian ini, kami mengakui bahwa penggunaan BCR sebagai alat evaluasi ekonomi memiliki batasan tertentu. BCR mengkonsolidasi observasi kompleks menjadi angka sederhana yang mungkin tidak mencerminkan semua dinamika yang mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan sebuah proyek. Keberhasilan sesungguhnya dari suatu inisiatif dapat dipengaruhi oleh banyak faktor yang meluas dan sering kali tidak terduga, yang tidak selalu dapat dijelaskan melalui angka pendapatan dan biaya modal. Salah satu batasan yang penting dari penelitian ini adalah ketergantungan pada indikator BCR yang lebih besar atau lebih kecil dari satu, yang dapat menimbulkan bias. Indikator ini bisa memberikan rasa aman yang palsu karena tidak menggambarkan risiko potensial dan variabel lain yang mempengaruhi

keputusan investasi. Oleh karena itu, interpretasi BCR harus dilakukan dengan hati-hati dan dipertimbangkan bersama dengan faktor-faktor lain yang mungkin tidak tercakup dalam perhitungan numeriknya.

Untuk mengatasi keterbatasan ini, analisis BCR idealnya harus dipadukan dengan metode analisis lain, seperti analisis sensitivitas, untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang keberlanjutan dan kelayakan ekonomi proyek. Pemaduan pendekatan ini akan memungkinkan peneliti dan pengambil keputusan untuk mempertimbangkan berbagai skenario dan mengurangi risiko kesalahan dalam pengambilan keputusan.

#### 4. KESIMPULAN

Pertimbangan ini secara eksplisit diakui sebagai keterbatasan penelitian ini dan menyarankan perlunya pendekatan yang lebih holistik dalam analisis ekonomi proyek. Dalam penelitian masa depan, akan diupayakan untuk mengintegrasikan BCR dengan alat evaluasi lainnya untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif dan mengurangi potensi bias dalam penilaian proyek.

Studi ini telah berhasil mengungkapkan berbagai aspek penting terkait pengolahan sampah plastik melalui teknologi pirolisis, khususnya pada plastik pembungkus paket. Berdasarkan hasil analisis ekonomi, ditemukan bahwa pada saat ini, nilai ekonomi dari pengolahan pirolisis dengan timbulan sampah sebesar 31,41 kg per bulan belum mencapai tingkat keuntungan yang signifikan. Hal ini tercermin dari nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) yang masih di bawah 1, mengindikasikan bahwa pengembangan teknologi pirolisis dalam skala yang lebih besar perlu dilakukan dengan hati-hati.

Studi ini telah menunjukkan pentingnya mempertimbangkan aspek ekonomi dalam mengembangkan teknologi pengolahan sampah plastik, terutama dalam konteks penggunaan plastik pembungkus paket. Rekomendasi yang diberikan adalah dengan mengevaluasi kembali kapasitas reaktor, jumlah bahan baku, dan efisiensi operasional untuk meningkatkan nilai ekonomi pengolahan pirolisis. Langkah ini dapat melibatkan peningkatan kapasitas reaktor menjadi 75 kg, mengoptimalkan penggunaan bahan bakar gas, dan menambah pasokan bahan baku dari berbagai sumber. Selain itu,



studi ini juga menggarisbawahi perlunya pendekatan yang holistik dalam mengembangkan teknologi pengolahan sampah plastik. Aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi perlu dipertimbangkan secara bersamaan untuk mencapai hasil yang optimal. Pengolahan pirolisis yang berpotensi menghasilkan bahan bakar dari sampah plastik harus diintegrasikan dengan praktik yang berkelanjutan dan menguntungkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- BAPPEDA Kota Surakarta (2020) Peta Kota Surakarta. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fintip.surakarta.go.id%2Falbum-peta&psig=AOvVaw034Me7HAc12--la2itvq6r&ust=1692149572254000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjhxqFwoTCjDxg-rC3YADFQAAAAAdAAAAABAj>
- Bening CR, Pruess JT, Blum NU (2021) Towards a circular plastics economy: Interacting barriers and contested solutions for flexible packaging recycling. *J Clean Prod* 302:126966. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126966>
- Bu Q, Chen K, Xie W, et al (2019) Hydrocarbon rich bio-oil production, thermal behavior analysis and kinetic study of microwave-assisted co-pyrolysis of microwave-torrefied lignin with low density polyethylene. *Bioresour Technol* 291:121860. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121860>
- Budiprasojo A, Pratama A (2016) NILAI KALOR BAHAN BAKAR PLASTIK POLYPROPYLENE (BBPP) HASIL PYROLISIS DENGAN CAMPURAN PREMIUM DAN OCTANE BOOSTER. *J Ilm Inov* 16. <https://doi.org/10.25047/jii.v16i2.296>
- Dewi RR, Sintia F, Durahman EU (2021) Register of Online Transactions in the Field of Beauty on Social Media Instagram. *Teknosastik* 19:74-80. <https://doi.org/10.33365/ts.v19i2.700>
- Escursell S, Llorach-Massana P, Roncero MB (2021) Sustainability in e-commerce packaging: A review. *J Clean Prod* 280:124314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124314>
- Fan Y, Lu D, Wang J, Kawamoto H (2022) Thermochemical behaviors, kinetics and bio-oils investigation during co-pyrolysis of biomass components and polyethylene based on simplex-lattice mixture design. *Energy* 239:122234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122234>
- Fernandes ERK, Marangoni C, Souza O, Sellin N (2013) Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Convers Manag* 75:603-608. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2013.08.008>
- Fu J, Wu X, Liu J, et al (2023) Co-circularity of spent coffee grounds and polyethylene via co-pyrolysis: Characteristics, kinetics, and products. *Fuel* 337:127061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127061>
- Gala A, Guerrero M, Serra JM (2020) Characterization of post-consumer plastic film waste from mixed MSW in Spain: A key point for the successful implementation of sustainable plastic waste management strategies. *Waste Manag* 111:22-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.019>
- Ghodrat M, Abascal Alonso J, Hagare D, et al (2019) Economic feasibility of energy recovery from waste plastic using pyrolysis technology: an Australian perspective. *Int J Environ Sci Technol* 16:3721-3734. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02293-8>
- Islam MR, Joardder MUH, Hasan SM, et al (2011) Feasibility study for thermal treatment of solid tire wastes in Bangladesh by using pyrolysis technology. *Waste Manag* 31:2142-2149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.04.017>
- Jamaluddin M, Maulana E, Djatmiko E (2022) Perancangan Burner untuk Reaktor Pirolisis Kapasitas 15 kg dengan Bahan Bakar Refuse Derived Fuel (RDF) dan Gas. *J Asimetrik J Ilm Rekayasa Inov* 4:1-12. <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v4i1.2346>
- Jambeck J, Geyer R, Wilcox C, et al (2015) The Ocean: The Ocean: *Mar Pollut* 347:768-
- Jangid CJ, Miller KM, Seay JR (2022) Analysis of Plastic-Derived Fuel Oil Produced from High- and Low-Density Polyethylene. *Recycling* 7
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2022) Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 37.K/HK.02/MEM.M/2022 tentang Jenis Bahan Bakar Minyak Khusus Penugasan
- Mugilarasan M, Karthik R, Purvaja R, et al (2021) Spatiotemporal variations in anthropogenic marine litter pollution along the northeast beaches of India. *Environ Pollut* 280:116954. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116954>
- Peng Y, Wu P, Schartup AT, Zhang Y (2021) Plastic waste release caused by COVID-19 and its fate in the global ocean. *Proc Natl Acad Sci* 118:e2111530118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111530118>
- PT Pertamina (2021) Daftar Harga BBK TMT 01 April 2021
- Raab K, Wagner R, Ertz M, Salem M (2023) When marketing discourages consumption: demarketing of single-use plastics for city tourism in Ottawa, Canada. *J Ecotourism* 22:375-405. <https://doi.org/10.1080/14724049.2022.2028794>
- Rahmayetty (2021) Pengembangan Pengolahan Industri Sampah Plastik Terpadu Berbasis Circular Economy di Kota Cilegon-Banten. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa., Banten
- Ristianingsih Y, Ulfa A, Syafitri K.S R (2015) Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Perak Terhadap Karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Pirolisis. *Konversi* 4:16. <https://doi.org/10.20527/k.v4i2.266>
- Sari MM, Andarani P, Notodarmojo S, et al (2022) Plastic pollution in the surface water in Jakarta, Indonesia. *Mar Pollut Bull* 182:114023. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114023>
- Sari MM, Inoue T, Rofiah R, et al (2023a) Transforming Bubble Wrap and Packaging Plastic Waste into Valuable Fuel Resources. *J Ecol Eng* 24:260-270. <https://doi.org/10.12911/22998993/166554>

- Sari MM, Septiariva IY, Fauziah EN, et al (2023b) Prediction of recovery energy from ultimate analysis of waste generation in Depok City, Indonesia. *Int J Electr Comput Eng* 13:1. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1.pp1-8>
- Sianipar IMJ, Suryawan IWK, Tarigan SR (2022) The Challenges and Future of Marine Debris Policy in Indonesia and Taiwan Case Studies. *J Sustain Infrastruct* 1:56-62
- Sirait R, Maulana E, Mahardika D (2020) Analisis Keseimbangan Energi pada Reaktor Pirolisis Kapasitas 75 Kg/Jam. *Semin Nas Penelit LPPM UMJ* 1-8
- Suryawan IWK, Lee C-H (2023a) Citizens' willingness to pay for adaptive municipal solid waste management services in Jakarta, Indonesia. *Sustain Cities Soc* 97:104765. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104765>
- Suryawan IWK, Lee C-H (2023b) Community preferences in carbon reduction: Unveiling the importance of adaptive capacity for solid waste management. *Ecol Indic* 157:111226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111226>
- Suryawan IWK, Septiariva IY, Fauziah EN, et al (2022) Municipal Solid Waste to Energy: Palletization of Paper and Garden Waste into Refuse Derived Fuel. *J Ecol Eng* 23:64-74
- Ulhasanah N, Goto N (2018) Assessment of citizens' environmental behavior toward municipal solid waste management for a better and appropriate system in Indonesia: a case study of Padang City. *J Mater Cycles Waste Manag* 20:1257-1272. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0691-4>
- Zahra NL, Septiariva IY, Sarwono A, et al (2022) Substitution Garden and Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Waste as Refused Derived Fuel (RDF). *Int J Renew Energy Dev* 11:523-532. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.44328>
- Zhao Y, Fang Y, Jin Y, et al (2014) Potential of duckweed in the conversion of wastewater nutrients to valuable biomass: A pilot-scale comparison with water hyacinth. *Bioresour Technol* 163:82-91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.018>