

"CLEAN FUTURE" KONSEP PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK UNTUK MENURUNKAN KETERGANTUNGAN TERHADAP BAHAN BAKAR FOSIL

"CLEAN FUTURE" PLASTIC WASTE UTILIZATION CONCEPT TO REDUCE DEPENDENCE ON FOSSIL FUEL

A Qodir, A W Ningsih, D S Adrian, G Rohidi, H I R Fatriansyah,
H T Sobon, K F Hanisa, Y Perwira

Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Banjarbaru
Jalan Panglima Batur Barat no. 2, Banjarbaru, Kalimantan Selatan
E-mail: kti1bspjibanjarbaru@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi fosil di masyarakat yang meningkat dan semakin berkurangnya sumber bahan bakar tersebut memaksa Indonesia untuk menemukan suatu energi baru. Metode studi literatur dengan pendekatan analisis deskriptif dengan mengumpulkan dan menganalisa artikel, jurnal, dan penelitian ilmiah digunakan untuk menyusun karya tulis ini. Sebuah penelitian menemukan energi alternatif berasal dari minyak plastik yang dapat dijadikan sebagai campuran mesin diesel. Hal tersebut dapat memberikan manfaat seperti mengurangi ketergantungan akan energi fosil dan pencemaran lingkungan akibat sampah plastik. Plastik memerlukan ratusan tahun untuk terurai secara alami akan tetapi jumlah plastik terus meningkat setiap tahunnya. Sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun. Ada berbagai cara/metode konversi untuk mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar pengganti energi fosil yaitu pirolisis/*thermal cracking*, degradasi katalitik/*catalytic cracking* dan gasifikasi. Tulisan ini akan menjabarkan bagaimana sampah plastik mampu diolah sebagai sumber energi untuk mengatasi krisis energi. Konsep pengolahan sampah plastik ini disebut sebagai "*clean future*" karena mampu menyelesaikan masalah kebutuhan energi dan mengurangi tumpukan sampah plastik.

Kata kunci: energi fosil, sampah plastik, dan energi alternatif

ABSTRACT

The increasing demand for fossil energy in society and the diminishing source of these fuels have forced Indonesia to find a new energy source. Literature study method with descriptive analysis approach by collecting and analyzing articles, journals, and scientific research is used to compile this paper. A study found alternative energy comes from plastic oil that can be used as a mixture of diesel engines. This can provide benefits such as reducing dependence on fossil energy and environmental pollution due to plastic waste. Plastic takes hundreds of years to decompose naturally, but the amount of plastic continues to increase every year. Plastic waste in Indonesia reaches 64 million tons per year. There are various ways/conversion methods to convert plastic waste into fuel to substitute fossil fuel, namely pyrolysis/thermal cracking, catalytic degradation/catalytic cracking, and gasification. This paper will describe how plastic waste can be processed as an energy source to overcome the energy crisis. The concept of processing plastic waste is referred to "clean future" because it is able to solve the problem of energy needs and reduce the pile of plastic waste.

Keywords: fossil energy, plastic waste, and alternative energy

PENDAHULUAN

Energi adalah kekuatan yang terkandung dalam suatu benda yang memungkinkan benda tersebut untuk menghasilkan kerja. Salah satu bentuk energi bisa didapat dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil adalah sumber energi yang didapat dari organisme yang mengendap, terkubur dan mendapat tekanan tinggi dalam jangka waktu yang lama sehingga mengalami perubahan fisika dan kimia. Ketahanan energi Indonesia mendekati titik kritis seiring dengan naiknya kebutuhan bahan bakar di masyarakat dan tidak berimbangnya jumlah produksi bahan bakar. Hal ini menyebabkan Indonesia kini menjadi importir minyak [1]. Indonesia memiliki potensi sumber energi terbarukan yang beragam, baik itu energi surya, energi hidro, energi angin maupun biomassa. Namun,

pemanfaatannya tidak signifikan yakni kurang dari 4% pada 2007 [2]. Data menunjukkan bahwa cadangan batu bara akan habis pada 2026 dan minyak bumi hanya tersedia sampai 2028. Potensi energi terbarukan Indonesia pun sebesar 443 GW [3]

Karakteristik plastik sebagai pengemas produk yang ringan, tidak mudah pecah, plastis, bisa dibuat transparan ataupun berwarna, bisa diproduksi secara massal, relatif murah dan mampu memperlambat pembusukan [4],[5] adalah alasan mengapa begitu banyak produsen makanan ataupun distributor produk menggunakan plastik sebagai pengemas. Semua keunggulan ini belum bisa digantikan sepenuhnya oleh material lain sehingga plastik masih menjadi pilihan yang mendominasi para pelaku industri. Terlebih di masa pandemi di mana masyarakat membatasi pergerakan sosialnya sehingga lebih sering melakukan transaksi secara daring. Hasil penelitian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) menunjukkan aktivitas jual beli secara daring yang dilakukan oleh mayoritas warga Jabodetabek mengalami peningkatan [6]. Tentu naiknya transaksi online adalah indikasi berputarnya roda perekonomian. Pengemas produk tentu harus tahan lama, tidak mudah rusak namun juga murah sehingga plastik adalah pilihan yang sesuai dengan kriteria tersebut. Namun, berdasarkan data yang dihimpun oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada 2021 timbulan sampah nasional per hari sebesar 76.118 ton/hari dan 27 juta ton/tahun di mana 15,7%-nya merupakan sampah plastik. Hal ini bisa menjadi masalah serius jika dibiarkan, terlebih pengelolaan sampah hanya sebesar 69,71% dan penanganan sampah pun hanya sebesar 50% [7]. Sampah plastik pun dapat mencemari lingkungan dan mengancam biodiversitas fauna, bahkan mengancam kesehatan manusia [8]

Sampah plastik memerlukan waktu ratusan tahun untuk terdekomposisi secara alami. Namun, jumlah sampah plastik terus menumpuk dari tahun ke tahun. Karakter plastik ini memunculkan perlunya metode pengolahan sampah plastik yang praktis. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah plastik menjadi sumber energi [9].

Tulisan ini akan membahas potensi sampah plastik dan metode-metode untuk mengkonversi plastik menjadi energi melalui studi literatur berdasarkan jurnal penelitian. Tujuan akhir dari tulisan ini agar plastik dipandang sebagai sumber energi. Seiring dengan menurunnya jumlah cadangan bahan bakar fosil maka muncul gerakan untuk mengurangi jejak karbon yang disebut "*clean future*". Upaya seperti memperbaiki teknologi produksi, mencari sumber-sumber bahan baku yang lebih *sustainable* dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dilakukan untuk menurunkan jejak karbon [10]. Salah satu bentuk lainnya yaitu mulai digunakannya sumber energi alternatif. Metode-metode pengolahan yang dijabarkan akan membuktikan sampah plastik sebagai sumber energi mampu untuk menciptakan "*Clean Future*", konsep pengolahan sampah yang tidak hanya menyelesaikan permasalahan kebutuhan sumber energi baru melainkan juga menyelesaikan isu lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penyusunan karya tulis ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan analisis deskriptif. Studi literatur didapatkan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, maupun web internet. Studi literatur ini disusun menggunakan metode naratif dengan mengelompokkan yang sejenis untuk diulas dan digunakan untuk menjawab tujuan penulisan karya tulis. Pendekatan sistematis dilakukan untuk melakukan analisis data menggunakan *simplified approach*. *Simplified approach* merupakan analisis data melalui kompilasi artikel ilmiah dan penyederhanaan setiap temuan. Literatur yang didapat dikumpulkan lalu dijadikan ringkasan jurnal dengan maksud memperjelas analisis abstrak dan keseluruhan jurnal yang diamati. Setelah itu dilakukan analisis pada isi/ringkasan jurnal tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Energi

Energi berperan penting dalam kehidupan sehari-hari. Energi sendiri bisa didapat dari berbagai sumber, beberapa sumber memerlukan pengolahan untuk melepaskan energinya. Energi fosil adalah sumber energi tak terbarukan yang membutuhkan waktu jutaan tahun untuk terbentuk. Energi fosil terbentuk dari jutaan organisme yang mengalami dekomposisi, menerima tekanan dan suhu tinggi sehingga menghasilkan suatu bentuk yang kaya akan karbon. Energi fosil mencakup batu bara, minyak bumi dan gas bumi [11]. Ketergantungan terhadap energi fosil bermula dari dikembangkannya mesin uap dan kelistrikan. Namun, penolakan terhadap ketergantungan pada bahan bakar fosil mulai muncul di skala lokal, regional dan global [12]. Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat sehingga selama energi terbarukan tidak tersedia maka ketergantungan terhadap bahan bakar fosil akan meningkat pula. Mengingat per 2020 realisasi pangsa energi baru terbarukan hanya sebesar 11,3% [13]. Energi baru terbarukan memberikan dampak signifikan pada akses kecukupan energi. *Lifting* minyak yang terus menurun memaksa Indonesia untuk menemukan alternatif energi [14]. Hal ini menunjukkan kebutuhan Indonesia terhadap energi baru terbarukan agar bisa mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi.

Plastik

Plastik adalah bahan yang digunakan sebagai pengganti banyak material konvensional. Sebagai material yang tahan jamur, awet, ringan dan murah plastik telah umum digunakan sebagai pengemas, pengganti kaca dan produk medis. Peranan plastik dalam kehidupan sehari-hari hampir tidak bisa dipisahkan. Namun, penggunaan plastik telah menjadi bagian besar dalam produk yang digunakan manusia dalam kehidupan sehari-hari hingga ke titik di mana plastik menjadi perhatian serius. Karakteristik plastik yang tahan lama, tidak mudah rusak dan volumenya yang besar menyebabkan masalah lingkungan baik udara maupun perairan [15]. Terlebih akumulasi sampah tak terkelola di Indonesia mencapai 30,83% atau 8,9 juta ton/tahun dan yang tertangani hanya 50% atau 13,9 juta/tahun. Hal ini membuktikan munculnya potensi pemanfaatan sampah sebagai sumber energi baru dan urgensi penyelesaian masalah lingkungan.

Sampah Plastik sebagai Masalah

Permasalahan sampah plastik sudah tidak asing lagi di kehidupan manusia. Banyak ahli memikirkan cara agar sampah plastik ini tidak semakin banyak dan tertimbun. Plastik merupakan berbahan dasar minyak bumi dan ditambah dengan bahan dasar lainnya yang tidak dapat terurai dalam waktu singkat [16]. Tidak seperti limbah dari buah, rumput, maupun kayu yang dapat terurai melalui proses biodegradasi jika tertimbun di dalam tanah. Bahan-bahan organik tersebut mengalami penguraian secara alami oleh bakteri dengan melalui beberapa proses sehingga menjadi senyawa yang berguna [17].

Sampah plastik sangat mudah terbakar dan menghasilkan asap yang mengandung karbon monoksida (CO) dan hidrogen sianida (HCN). Inilah alasan mengapa sampah plastik mencemari udara dan berujung pada pemanasan global. Saat ini berbagai industri dunia telah menggunakan plastik sebagai pengemas produk. Sebelum adanya plastik, manusia pada zaman dulu menggunakan tas dari bahan alam seperti daun, rajutan akar, dan kain. Namun, saat ini masyarakat sudah terbiasa menggunakan kantong plastik. Dibandingkan kebutuhan, plastik seakan sudah menjadi gaya hidup [18].

Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta selama periode Oktober hingga Desember 2021, volume sampah yang diangkut dari sungai di Jakarta itu setara 2,5 kali bangunan Monas. Berdasarkan data yang diperoleh dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), sampah plastik di Indonesia

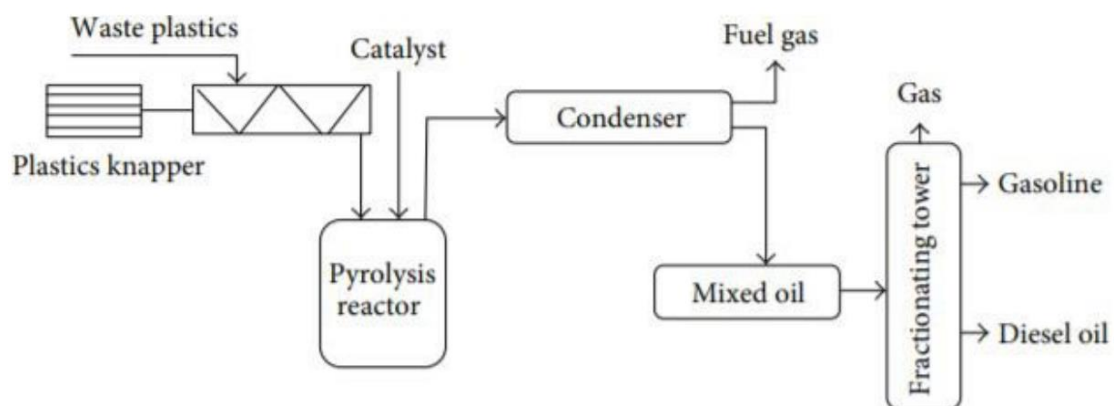
mencapai 64 juta ton/tahun di mana 3,2 ton plastik berakhir di lautan. Persentase sampah plastik di Jakarta mencapai 34% dari sampah harian di 2019. Adapun rata-rata total sampah harian Jakarta di 2019 mencapai 7.702 ton dan kantong plastik yang terbangun ke lingkungan sebanyak 85.000 ton [19]. Total sampah plastik Indonesia pada 2019 masuk urutan kedua di dunia dengan 3,21 juta metrik ton/tahun [20]. Berbagai data tersebut semakin menambah urgensi penanganan sampah plastik. Apabila masalah tersebut tidak segera diatasi dengan baik, efektif dan efisien maka bahaya dan eksistensi sampah akan menghancurkan lingkungan hidup. Permasalahan sampah adalah masalah yang krusial. Hingga dapat dikatakan bahwa sampah sebagai masalah kultural, hal ini diakibatkan karena dampaknya yang langsung mengenai berbagai sisi kehidupan [21].

Metode Pengolahan Sampah Plastik

Sampah plastik merupakan jenis sampah yang bernilai tinggi karena masih bisa dimanfaatkan. Sampah plastik yang diolah akan membantu kehidupan. Pengolahan yang banyak dikembangkan adalah konversi sampah plastik menjadi bahan bakar (energi), yang menggerakkan mesin kendaraan dan generator lainnya. Berbagai cara untuk mengubah plastik menjadi energi telah dilakukan, seperti pada penelitian [22] yang mengubah styrofoam menjadi bahan bakar cair. Konversi limbah menjadi energi adalah teknik untuk menghasilkan energi dari limbah dalam bentuk panas atau listrik. Teknologi konversi limbah ini dapat meminimalkan limbah dengan mengompresi dan menghasilkan energi serta mendukung energi berkelanjutan. Ada berbagai cara/metode konversi untuk mengubah plastik menjadi energi:

A. Pirolisis/ Thermal Cracking

Pirolisis /Thermal Cracking adalah proses degradasi polimer plastik tanpa menggunakan oksigen. Plastik awalnya dimasukkan ke dalam ruang silinder. Gas pirolisis dikondensasikan dalam sistem kondensor yang dirancang khusus untuk menghasilkan sulingan hidrokarbon yang terdiri dari hidrokarbon alifatik, siklik alifatik dan aromatik rantai lurus dan bercabang, dan cairannya didistilasi secara fraksional. Dipisahkan untuk menghasilkan produk bahan bakar cair. Prosesnya dilakukan pada suhu 370°C-420°C [23].



Gambar 1. Proses Pirolisis [24]

Metode ini menghasilkan arang dan minyak. [25] melakukan penelitian untuk mengolah campuran tujuh plastik menjadi minyak bumi menggunakan metode pirolisis. Komposisi ketujuh plastik adalah HDPE (35%), LDPE (17%), LLPE (17%), PP (10%), PS (10%), PET (11%) dan PVC (1%). Penelitian ini menggunakan reaktor jenis batch dengan temperatur pada kisaran 350-500°C. Pirolisis menghasilkan gas, minyak dan padatan. Plastik jenis PS,

PVC, dan PET dapat meningkatkan pembentukan CO dan CO₂ dalam produk gas dan meningkatkan kadar benzena, toluena, xilena, dan stirena dalam produk minyak.

Plastik lain yang diteliti untuk digunakan adalah polietilen (PE) dan polipropilen (PP). Pirolisis dilakukan pada suhu 450°C selama 2 jam. Gas yang dihasilkan kemudian dikondensasikan menjadi minyak di dalam kondensor pada suhu 21°C. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi minyak memiliki jumlah atom karbon yang sama dengan solar yaitu C₁₂-C₁₇ [26]. Meski demikian, minyak yang dihasilkan dari pirolisis masih memerlukan pengolahan lebih lanjut untuk mengoptimalkan karakteristiknya [27].

Berbagai penelitian mengenai sampah plastik telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Pengolahan sampah plastik menggunakan metode pirolisis dengan penambahan aditif pada campuran akhir sebelum diujikan. Hasilnya menunjukkan bahwa karakteristik minyak plastik yang dihasilkan dapat digunakan pada mesin diesel. Kemudian penambahan aditif 2-metoksil etil asetat dapat menghasilkan campuran minyak plastik yang performanya lebih baik dibanding minyak plastik murni [28]. Penelitian lain juga menemukan bahwa pada rendemen yang dihasilkan dari pirolisis plastik PP suhu 400°C sebesar 50% dengan nilai kalor sebesar 10570 kkal/kg [29].

B. Degradasi Katalitik/ *Catalytic Cracking*

Degradasi katalitik adalah metode yang efisien. Katalis bertindak untuk mengurangi suhu dan waktu reaksi dengan mengoptimalkan laju reaksi, meningkatkan kualitas produk. Katalis yang umum digunakan dalam penelitian antara lain zeolit, silika-alumina, dan gamma- alumina [30]. Biaya yang digunakan pada metode ini lebih ekonomis sehingga bisa dikembangkan untuk tujuan komersil. Proses ini juga menghasilkan konsentrasi residu padat yang lebih rendah dalam produk [31]. Penelitian lain juga telah dilakukan mengenai konversi plastik polietilen densitas rendah (LDPE) menjadi minyak dengan mencampurkannya dalam *feed* pada proses *fluid catalytic cracking* [32]. Proses konversi dilakukan dengan membandingkan produk dari penggunaan katalis berbasis zeolit dan *silica-alumina*. Penambahan sampah plastik pada proses ini pun tidak merusak peralatan yang digunakan untuk proses degradasi katalitik.

Penelitian mengenai pengolahan plastik dengan metode *catalytic degradation* menggunakan BaCO₃ sebagai katalis juga telah dilakukan [33]. Minyak plastik yang dihasilkan memiliki karakteristik yang mirip dengan bahan bakar diesel sehingga bisa digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Katalis yang ditambahkan pun berhasil mengurangi produk samping yang dihasilkan. Penelitian lain menunjukkan proses ini mampu mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar dengan rendemen sebesar 71,46% [34].

C. Gasifikasi

Gasifikasi adalah konversi biokimia berbasis karbon padat atau cair oleh *gasification agent* menjadi produk gas yang volatil [35]. Gasifikasi adalah metode yang serupa dengan pirolisis, namun memerlukan energi operasi yang lebih tinggi dan memerlukan gas sehingga laju pemanasan akan lebih rendah. Metode ini akan lebih tepat digunakan jika keluaran yang diinginkan berbentuk gas [36]. Metode ini juga mampu mengolah plastik dengan rendemen gas sebesar 67% [37].

Metode gasifikasi mendapat perhatian karena mampu mengolah baik biomassa dan sampah seperti kayu, plastik, sampah perkotaan. Terkhusus untuk sampah plastik, gasifikasi bisa mengolah plastik yang terkontaminasi. Pengoperasian dengan *gasification agent* yang diatur di bawah kebutuhan stoikiometri dapat menghasilkan produk dengan polutan yang lebih sedikit. Gasifikasi akan menghasilkan gas sintetis (*syngas*) yang berguna untuk keperluan lain, misalnya untuk peralatan yang membutuhkan panas seperti *steam boiler*, *kiln*, *dryer* dan lainnya. Dibandingkan dengan pirolisis, campuran yang terkandung dalam *feed* hanya akan mempengaruhi komposisi *syngas* dan rendemen produk [15]. Gasifikasi

pun menunjukkan hasil yang layak dipertimbangkan. Pengolahan sampah menggunakan metode gasifikasi berhasil menghasilkan energi listrik sebesar 18,99 kWh dan mampu menyala selama 12 jam [38].

Konsep *Clean Future*

Secara umum, *clean future* adalah meminimalkan penggunaan bahan bakar fosil. *Clean future* di industri berarti mengubah metode produksi, bahan baku dan pengemas produk dengan tujuan meminimalkan jejak karbon. *Clean Future* dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari seperti dengan mengurangi penggunaan air dan mengurangi penggunaan plastik sekali pakai [10]

Konsep *clean future* yang ditawarkan dalam tulisan ini adalah konsep di mana sampah plastik yang dikelola oleh daerah masing-masing untuk kemudian mempertimbangkan metode yang paling cocok dengan kebutuhan daerahnya. Terutama untuk daerah terluar, terdepan, tertinggal (3T) sangat sumber energi alternatif agar tidak sepenuhnya bergantung pada sumber energi fosil. Terlebih pengembangan infrastruktur ketenagalistrikan tidak *feasible* untuk dilakukan di daerah tersebut. Sehingga sumber energi alternatif adalah salah satu solusi yang dapat ditawarkan pada daerah tersebut dengan memanfaatkan sumber daya yang tersedia [39].

Potensi jutaan limbah plastik nasional yang tak tertangani berpotensi besar untuk dijadikan sumber energi alternatif baik dalam bentuk cair maupun dalam bentuk gas. Metode-metode yang telah diteliti menunjukkan bahwa metode tersebut mampu mengolah sampah plastik dan menghasilkan bahan bakar yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Sehingga konsep pengolahan sampah plastik sebagai sumber energi dapat direalisasikan sebagai solusi bagi 2 masalah, krisis energi dan isu lingkungan penumpukan sampah plastik.

Best Practice Konsep "*Clean Future*"

Pengaplikasian metode pirolisis untuk mengubah plastik menjadi BBM dilakukan salah satunya oleh pegiat di Badung, Bali. Plastik dipanaskan di dalam bejana berbentuk kotak selama 4 jam lalu uap hasil pemanasan akan dilewatkan pada cooler. Uap yang melewati cooler akan mengalami penurunan suhu sehingga uap berubah menjadi cairan. Cairan kemudian dipanaskan kembali untuk pemisahan berdasarkan suhu. Ada 3 jenis produk hasil pemisahan yakni minyak pengganti bensin, solar atau minyak tanah [40]. *Clean future* adalah suatu gerakan yang bertujuan untuk mengganti karbon pada formulasi produk, dari yang bersumber pada energi fosil menjadi karbon dari hasil *recycle* ataupun karbon dari sumber-sumber terbarukan. Sebagai contoh substitusi plastik dengan plastik konvensional yang telah di-recycle bisa memiliki manfaat yang setara dengan penggunaan sumber karbon yang bisa diperbarui [41], [42] Kemudian beberapa penelitian lain [42]–[44] juga mendukung bagaimana plastik bisa dikonversi menjadi bahan bakar sebagai pengganti bahan bakar fosil. Konversi plastik sebagai sumber karbon mampu mensubstitusi bahan bakar fosil sehingga langkah ini mampu menjadi bagian dari *clean future*. Metode gasifikasi diterapkan di Jepang Eropa, dan Amerika Utara. Contohnya plant gasifikasi di Kitakyushu, Fukuoka yang berkapasitas 216.000 ton per tahun. Suhu operasi dengan menggunakan oksigen berkisar pada 1000-1400°C sementara jika menggunakan udara suhu berkisar pada 900-1100°C. Udara lebih umum digunakan, meski demikian *Net Calorific Value* yang dihasilkan lebih rendah dibanding pengoperasian yang menggunakan oksigen.

Tabel 1. *Best Practice* Pirolisis Berbagai Jenis Plastik

Penulis	Jenis Plastik	Suhu (°C)	Waktu	Katalis	Karakteristik minyak	Jumlah minyak
[45]	HDPE, LDPE, PP, dan PS	-	-	Tanpa katalis	Nilai kalor 42,32 MJ/kg yang setara dengan solar (nilai kalor 43,0 MJ/kg)	-
[44]	HDPE	450	45 Menit	NaOH	Minyak yang dihasilkan mengandung paraffin 58%	81
[46]	HDPE	550	210 Menit	Tanpa katalis	Fraksinya hamper setara dengan bensin, kerosin, dan diesel dengan nilai kalori 30,15-30,56 MJ/kg	60-62
			150 Menit	Alumina	Fraksinya hampir setara bensin, kerosin, dan diesel	70-71
[47]	PE dan PP	-	-	Tanpa katalis	Fraksi minyak pirolisis setara dengan solar yang rantai karbonnya C ₁₂ -C ₁₇	-

KESIMPULAN

Sampah plastik merupakan salah satu sumber energi yang potensial untuk dijadikan campuran bahan bakar. Selain itu, solusi ini juga mampu menurunkan jumlah akumulasi sampah tidak terolah. Pemilihan metode yang akan diambil bergantung pada produk akhir yang diinginkan. Pengolahan sampah untuk dijadikan sebagai sumber energi adalah konsep yang mampu menjawab permasalahan krisis energi dan isu lingkungan timbunan sampah plastik. Untuk mendukung konsep ini pengolahan sampah plastik memerlukan penelitian lebih lanjut dan kebijakan yang mendukung agar produk yang dihasilkan dapat menjadi sumber energi alternatif yang bisa segera digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Zaki and H. A. Santoso, "Model Fuzzy Tsukamoto untuk Klasifikasi dalam Prediksi Krisis Energi di Indonesia Tsukamoto Fuzzy Model for Classification in Indonesia Energy Crisis Prediction," *Citec Journal*, vol. 3, no. 3, 2016.
- [2] Z. Tharo and M. Andriana, *Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Angin Sebagai Sumber Alternatif Menghadapi Krisis Energi Fosil di Sumatera*.

- [3] D. M. F. Berlianto, "Analisis Pengaruh Konsumsi Energi Fosil dan Energi Baru Terbarukan Terhadap Produk Domestik Bruto di Indonesia," Universitas Pembangunan Nasional VETERAN Jawa Timur, Surabaya, 2022.
- [4] T. Y. Purnomo, "Plastik sebagai Kemasan Pangan," *Kementerian Perindustrian*, 2016. <https://bdiyogyakarta.kemenperin.go.id/blog/post/2016/05/10/22/plastik-sebagai-kemasan-pangan#:~:text=Penggunaan%20plastik%20sebagai%20pengemas%20pangan,dapat%20diproduksi%20secara%20massal%2C%20harga> (accessed Jun. 29, 2022).
- [5] The Conversation, "Kemasan plastik masih diperlukan untuk mencegah makanan jadi sampah dan melindungi lingkungan," Jun. 24, 2019. <https://theconversation.com/kemasan-plastik-masih-diperlukan-untuk-mencegah-makanan-jadi-sampah-dan-melindungi-lingkungan-119178> (accessed Jun. 29, 2022).
- [6] LIPI, "Peningkatan Sampah Plastik dari Belanja Online dan Delivery Selama PSBB," May 23, 2020.
- [7] Kementerian Lingkungan Hidup dan kehutanan, "Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah," 2021. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/> (accessed Jun. 29, 2022).
- [8] P. Vriend *et al.*, "Plastic Pollution Research in Indonesia: State of Science and Future Research Directions to Reduce Impacts," *Frontiers in Environmental Science*, vol. 9. Frontiers Media S.A., Jun. 08, 2021. doi: 10.3389/fenvs.2021.692907.
- [9] M. Constantinescu *et al.*, "From Plastic to Fuel-New Challenges." [Online]. Available: <http://www.revmaterialoplastice.ro>
- [10] "Unilever Tinggalkan Bahan Bakar Fosil Sebagai Bagian dari 'Clean Future,'" *Unilever*, Sep. 02, 2020. <https://www.unilever.co.id/news/press-releases/2020/unilever-tinggalkan-bahan-bakar-fosil-sebagai-bagian-dari-clean-future/> (accessed Jun. 30, 2022).
- [11] E. D. Coyle and R. A. Simmons, *Understanding the global energy crisis*. Indiana: Purdue University Press.
- [12] C. Bhattacharyya, *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. United Kingdom: Springer, 2019.
- [13] A. E. Setyono and B. F. T. Kiono, "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 154–162, Oct. 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- [14] A. N. Charisma, P. Iskandar, D. F. Pratama, and M. Muhdar, "Transformasi Energi Indonesia: Konstelasi Geopolitik dan Pengaturan untuk Energi Terbarukan Indonesia's Energy Transformation: Geopolitic Constallation and Regulation for Renewable Energy," *Jurnal de Jure*, vol. 14, no. 1, 2022, [Online]. Available: <https://iesr.or.id/energi-terbarukan-memetakan-ulang-peta-geopolitik-energi->
- [15] B. Ciuffi, D. Chiaramonti, A. M. Rizzo, M. Frediani, and L. Rosi, "A critical review of SCWG in the context of available gasification technologies for plastic waste," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 18. MDPI AG, Sep. 01, 2020. doi: 10.3390/APP10186307.
- [16] A. Matuszewska, M. Owczuk, and K. Biernat, "Current Trends in Waste Plastics' Liquefaction into Fuel Fraction: A Review," *Energies*, vol. 15, no. 8. MDPI, Apr. 01, 2022. doi: 10.3390/en15082719.
- [17] H. Ratya and W. Herumurti, "Timbulan dan Komposisi Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Rungkut Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 2337–3520, 2017.
- [18] W. Jatmiko, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif," *Jurnal Litbang*, vol. 14, no. 1, Jun. 2018.
- [19] Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta, "Rata-rata Jumlah Sampah yang Masuk ke Tempat Pembuangan Sampah Terakhir (TPST) Bantar Gebang," Jan. 07, 2020.

- <https://statistik.jakarta.go.id/rata-rata-jumlah-sampah-yang-masuk-ke-tempat-pembuangan-sampah-terakhir-tpst-bantar-gebang-2019/> (accessed Jun. 29, 2022).
- [20] TribunNews, "Indonesia penyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia," Sep. 26, 2021. <https://www.tribunnews.com/nasional/2021/09/26/indonesia-penyumbang-sampah-plastik-terbesar-kedua-di-dunia> (accessed Jun. 29, 2022).
- [21] A. Widiyanti *et al.*, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Sains (SNasTekS)*. 2019.
- [22] A. Zikri, I. Febriana, J. M. Amin, A. Pratiwi, M. Pratiwi, and M. Hifal Reyhan, "Pengaruh Jumlah Katalis dan Temperatur Pada Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Limbah Styrofoam dengan Metode Catalytic Cracking," *Jurnal Kinetika*, vol. 11, no. 01, pp. 9–17, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- [23] S. M. Al-Salem, P. Lettieri, and J. Baeyens, "The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 36, no. 1, pp. 103–129, Feb. 2010. doi: 10.1016/j.pecs.2009.09.001.
- [24] R. P. Singh, V. v. Tyagi, T. Allen, M. H. Ibrahim, and R. Kothari, "An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 9, pp. 4797–4808, Dec. 2011. doi: 10.1016/j.rser.2011.07.071.
- [25] M. Bajus and E. Hájeková, "Thermal Cracking of the Model Seven Components Mixed Plastics Into Oils/Waxes".
- [26] B. S. Untoro and Ismanto, "Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya," *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, vol. 1, no. 1, pp. 32–37, 2016.
- [27] A. Matuszewska, M. Owczuk, and K. Biernat, "Current Trends in Waste Plastics' Liquefaction into Fuel Fraction: A Review," *Energies*, vol. 15, no. 8. MDPI, Apr. 01, 2022. doi: 10.3390/en15082719.
- [28] P. Bridjesh, P. Periyasamy, A. V. Krishna Chaitanya, and N. K. Geetha, "MEA and DEE as additives on diesel engine using waste plastic oil diesel blends," *Sustainable Environment Research*, vol. 28, no. 3, pp. 142–147, May 2018, doi: 10.1016/j.serj.2018.01.001.
- [29] K. Endang, G. Mukhtar, A. Nego, and F. X. Angga Sugiyana, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan' Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," 2016.
- [30] D. Rachmadena, M. Faizal, and M. Said, "Conversion of polypropylene plastic waste into liquid fuel with catalytic cracking process using Al₂O₃ as catalyst," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 694–700, 2018, doi: 10.18517/ijaseit.8.3.2586.
- [31] J. Aguado, D. P. Serrano, and J. M. Escola, "Fuels from waste plastics by thermal and catalytic processes: A review," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 47, no. 21, pp. 7982–7992, Nov. 2008, doi: 10.1021/ie800393w.
- [32] G. de La Puente, C. Klocker, and U. Sedran, "Conversion of waste plastics into fuels Recycling polyethylene in FCC," 2002.
- [33] M. R. Jan, J. Shah, and H. Gulab, "Catalytic degradation of Waste high-density polyethylene into fuel products using BaCO₃ as a catalyst," *Fuel Processing Technology*, vol. 91, no. 11, pp. 1428–1437, 2010, doi: 10.1016/j.fuproc.2010.05.017.
- [34] M. Abdel Goad and R. Ali, "Thermal and Catalytic Cracking of Plastic Wastes into Hydrocarbon Fuels," 2017. [Online]. Available: www.ijeais.org56
- [35] B. H, J. Windarta, and E. H. Giovanni, "Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, Jun. 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.8132.

- [36] G. L. Sari, "Kajian Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair," *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 6–13, Mar. 2018, doi: 10.29080/alard.v3i1.255.
- [37] A. M. Qurrota and B. Sudarmanta, "Karakter Gasifikasi Sampah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate (PET) pada Reaktor Downdraft Sistem Kontinu dengan Variasi Air Fuel Ratio dan Variasi Ukuran Sampah Plastik," *Jurnal Sains dan Seni*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2012.
- [38] S. Ma'arif, "Integrated Technology Development of Waste to Energy (WTE) with Organic Waste Recycler System (OWRS) Pretreatment for Power Plants from Market Waste in Yogyakarta View project Analysis of Current on Tensile Strength and Microstructure of Laser Welding Results in Joining of Low Carbon Steel View project Syamsul Ma'arif Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa," 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/338885278>
- [39] CNBC Indonesia, "4.700 Desa Belum Teraliri Listrik, Begini Jurus PLN," Jun. 15, 2022. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220615172612-4-347429/4700-desa-belum-teraliri-listrik-begini-jurus-pln> (accessed Jun. 29, 2022).
- [40] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, "Konversi Sampah Plastik menjadi BBM." <http://ditjenppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/aksi/mitigasi/implementasi/321-konversi-sampah-plastik-menjadi-bbm> (accessed Jul. 20, 2022).
- [41] J. Zheng and S. Suh, "Strategies to Reduce the Global Carbon Footprint of Plastics," 2017.
- [42] M. Bajus and E. Hájeková, "THERMAL CRACKING OF THE MODEL SEVEN COMPONENTS MIXED PLASTICS INTO OILS/WAXES," *Petroleum & Coal*, vol. 52, no. 3, May 2010.
- [43] T. Marnoto and E. Sulistyowati, "Tinjauan Kinetika Pyrolysis Limbah Polystiren," 2012.
- [44] F. Obeid, J. Zeaiter, A. H. Al-Muhtaseb, and K. Bouhadir, "Thermo-catalytic pyrolysis of waste polyethylene bottles in a packed bed reactor with different bed materials and catalysts," *Energy Conversion and Management*, vol. 85, pp. 1–6, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.05.075.
- [45] Y. Sari, "Analisis Potensi Pemanfaatan Sampah Plastik sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Sanitasi Lingkungan: Studi Kasus Tempat Pembuangan Sementara (TPS) Kawasan Perumnas Monang Maning," Universitas Udayana, Bali, 2015.
- [46] Y. Sonawane, M. Shindikar, and M. Khaladkar, "Onsite Conversion of Thermoplastic Waste into Fuel by Catalytic Pyrolysis," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 03, no. 09, pp. 15903–15908, Sep. 2014, doi: 10.15680/ijirset.2014.0309016.
- [47] U. B. Surono, "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak," *Teknik*, vol. 3, no. 1, Apr. 2013.