

# Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar

Baharudin Helmy, Jaka Windarta, Erick Hardian Giovanni

Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

Email : [baharudinhelmy@students.undip.ac.id](mailto:baharudinhelmy@students.undip.ac.id) (B.H), [jakawindarta@lecturer.undip.ac.id](mailto:jakawindarta@lecturer.undip.ac.id) (J.W),  
[erickkgiovanni@gmail.com](mailto:erickkgiovanni@gmail.com) (E.H.G);

**Abstrak** : Pertumbuhan ekonomi saat ini sangat tergantung pada energi fosil seperti minyak bumi, gas alam, atau batubara. Ada banyak alternatif untuk pengganti energi fosil seperti biomassa, tenaga air, energi matahari dan energi angin. Selain itu aspek penting lainnya adalah strategi alternatif pengelolaan limbah. Perkembangan dan modernisasi membawa perubahan besar dalam produksi semua jenis komoditas, yang secara tidak langsung menghasilkan limbah. Plastik telah menjadi salah satu bahan untuk berbagai aplikasi karena fleksibilitas dan biaya yang relatif murah. Makalah ini menyajikan skenario konsumsi plastik saat ini dengan tujuan agar pembaca dapat melakukan analisis tentang teknik daur ulang limbah plastik padat. Daur ulang dapat dibagi ke dalam empat kategori: primer, sekunder, tersier, dan kuartier. Karena nilai kalor plastik setara dengan bahan bakar fosil, maka plastik ini menjadi alternatif bahan bakar yang lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk membahas metode mengubah plastik menjadi bahan bakar dengan metode pirolisis, degradasi katalitik, serta gasifikasi.

**Kata Kunci** : Limbah Plastik, Daur Ulang, Pirolisis, Degradasi Katalitik, Gasifikasi

---

## 1. Pendahuluan

Meningkatnya penggunaan produk plastik disebabkan oleh peningkatan standar hidup memiliki dampak luar biasa pada lingkungan. Sekarang ini plastik menjadi material yang sangat diperlukan, dan permintaan terus meningkat karena fungsinya yang beragam dalam rumah tangga dan industri. Akan tetapi polimer plastik juga menghasilkan limbah yang besar, dan jumlah ini terus meningkat di seluruh dunia. Oleh karena itu, limbah plastik merupakan tantangan lingkungan yang sangat serius karena jumlahnya sangat besar dan selain masalah pembuangan karena plastik tidak mengalami biodegradasi dalam waktu yang sangat lama. Konsumsi bahan plastik sangat besar dan semakin berkembang mengingat keunggulan dan fungsi yang dimilikinya, biaya yang relatif rendah, dan daya tahan yang baik karena plastik memiliki stabilitas kimia tinggi dan degradabilitas yang rendah. Jenis plastik yang paling banyak digunakan adalah poliolefin seperti polietilen dan *polypropylene*, yang memiliki produksi besar dan banyak digunakan untuk aplikasi seperti pengemasan, bangunan, listrik dan elektronik, pertanian, dan perawatan kesehatan. Sifat plastik dengan daya tahan tinggi membuat pembuangan limbah plastik menjadi masalah lingkungan yang sangat serius. Berdasarkan asalnya, limbah plastik dapat diklasifikasikan sebagai limbah plastik industri dan rumah tangga dan memiliki kualitas serta karakteristik yang berbeda (Kpere-daibo, 2009).

Produksi bahan plastik di Indonesia mencapai 7,23 juta ton pada tahun 2018, dengan laju pertumbuhan sekitar 5% per tahun. Limbah polimer punya potensi untuk digunakan sebagai sumber bahan kimia dan energi yang murah. Insinerasi polimer memiliki masalah polusi udara yang serius karena melepaskan gas berbahaya seperti dioksin, hidrogen klorida, partikel di udara, dan karbon dioksida. Plastik juga tidak memungkinkan di buang di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) karena biayanya yang tinggi dan sifat biodegradabilitas yang buruk (Buekens & Huang, 1998).

Daur ulang adalah solusi terbaik terhadap masalah lingkungan yang dihadapi industri plastik. Daur ulang ini dikategorikan ke dalam daur ulang primer, sekunder, tersier, dan kuaterner. Daur ulang kimia, yaitu konversi limbah plastik menjadi bahan baku atau bahan bakar telah diakui sebagai pendekatan yang ideal dan secara signifikan dapat mengurangi biaya pembuangan. Produksi hidrokarbon cair dari degradasi plastik akan bermanfaat karena cairannya mudah disimpan, ditangani, dan diangkut, walaupun hal tersebut tidak mudah untuk dilakukan. Berbagai langkah alternatif untuk bahan kimia daur ulang telah menarik banyak minat dengan tujuan mengubah limbah plastik menjadi petrokimia dasar yang bisa digunakan sebagai bahan baku hidrokarbon atau bahan bakar minyak untuk berbagai proses hilir. Beberapa metode untuk menghasilkan bahan bakar dari plastik bekas antara lain degradasi panas, perekahan katalitik, dan gasifikasi (Panda et al., 2010).

## 2. Kategori Daur Ulang

### 2.1. Daur Ulang Primer

Daur ulang primer juga dikenal sebagai pemrosesan ulang mekanik. Selama proses, limbah plastik dimasukkan ke dalam proses produksi dari bahan dasar (Ayhan Demirbas, 2009). Jadi kita bisa dapatkan produk dengan spesifikasi yang sama dengan bahan awal. Proses ini hanya dilakukan dengan *scrap semi clean*. Limbah plastik yang rusak sebagian menggantikan bahan asal. Jadi, semakin meningkat fraksi plastik daur ulang dalam campuran akan menjadikan kualitas produk menjadi berkurang. Jenis daur ulang ini membutuhkan pembersihan dan bukan limbah yang terkontaminasi dengan jenis yang sama seperti resin (Yoshioka & Grause, 2006). Langkah – langkah dalam proses daur ulang primer adalah:

1. Memisahkan limbah dengan jenis resin tertentu dan warna yang berbeda dan kemudian mencucinya.
2. Limbah memiliki sifat leleh yang lebih baik sehingga seharusnya ditinjau kembali menjadi pelet yang dapat ditambahkan ke resin asli.

Jenis daur ulang ini sangat mahal dibandingkan jenis daur ulang lainnya karena persyaratan sifat plastik yang disebutkan di atas. Jika limbah dapat disortir dengan mudah berdasarkan resin tetapi tidak bisa dijadikan pelet karena kontaminasi pewarnaan campuran, maka limbah dapat dimasukkan ke dalam aplikasi cetakan (Ayhan Demirbas, 2009).

### 2.2. Daur Ulang Sekunder

Daur ulang sekunder menggunakan limbah plastik padat dipembuatan produk plastik dengan cara mekanis, yang menggunakan daur ulang, pengisi, dan atau polimer murni. Tujuan dari proses ini adalah untuk mempertahankan energi yang digunakan untuk produksi plastik untuk mendapatkan keuntungan finansial. Tidak seperti itu daur ulang primer, proses daur ulang sekunder dapat menggunakan limbah terkontaminasi yang sudah dibersihkan. Proses daur ulang melibatkan produk

yang berbeda dan memiliki proses yang berbeda dibandingkan dengan proses produksi asli (Ayhan Demirbas, 2009; Huang et al., 2010).

### 2.3. Daur Ulang Tersier

Proses ini juga dikenal sebagai *cracking process*. Prosesnya termasuk memecah plastik di suhu tinggi (degradasi termal) atau pada suhu lebih rendah dengan katalis (degradasi katalitik), yang mengandung rantai karbon lebih kecil. Untuk berbagai produksi kimia, bahan baku ini dapat digunakan sebagai bahan dasar yang memiliki kualitas lebih rendah (contoh: polimerisasi atau fabrikasi bahan bakar). Sifat asal dari bahan baku akan hilang. Proses daur ulang tersier lebih penting karena tingginya tingkat pencemaran limbah. Kami dapat memulihkan monomer dari kondensasi polimer (Yoshioka & Grause, 2006). Mekanisme seperti hidrolisis, metanolisis, atau glikolisis dapat digunakan, misalnya, PET (*polyethylene terephthalate*), poliester, dan poliamida sementara penambahan polimer suka poliolefin, polistirena, dan PVC membutuhkan perlakuan termal yang lebih kuat, gasifikasi, atau degradasi katalitik (Ayhan Demirbas, 2009; Wei et al., 2010).

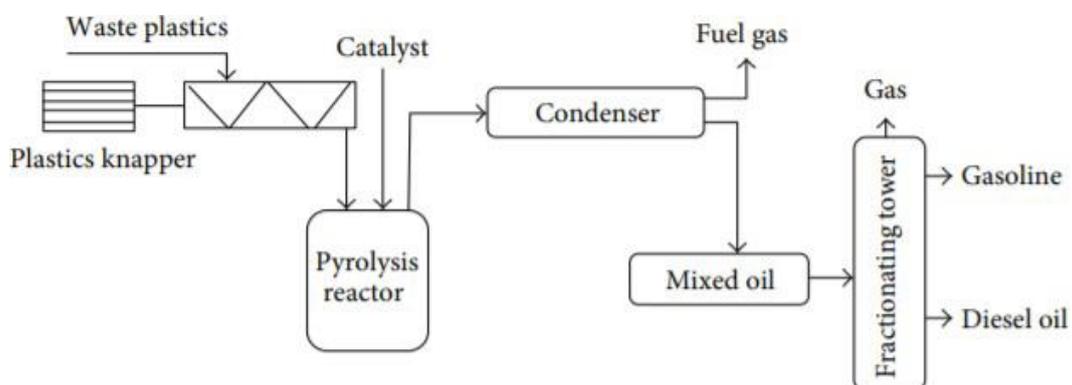
### 2.4. Daur Ulang Kuartar

Proses ini termasuk pemulihan konten energi saja. Karena kebanyakan sampah plastik memiliki konten panas tinggi sehingga dilakukan pembakaran. Energi panas tersebut satu-satunya keuntungan dari proses ini. Sisa dari insinerasi ini memiliki 20% berat, dengan 10% (Ayhan Demirbas, 2009).

## 3. Metode Konversi Plastik Menjadi Bahan Bakar

### 3.1. Pirolisis/Degradasi Termal

Pirolisis adalah proses degradasi termal suatu bahan tanpa adanya oksigen. Plastik dimasukkan ke dalam ruang silinder. Gas pirolitik terkondensasi dalam sistem kondensor yang dirancang secara khusus untuk menghasilkan distilat hidrokarbon yang terdiri dari lurus dan rantai bercabang alifatik, alifatik siklik, dan hidrokarbon aromatik, dan cairan dipisahkan menggunakan distilasi fraksional untuk menghasilkan produk bahan bakar cair. Plastik tersebut di pirolisis di temperatur 370°C – 420°C (Al-Salem et al., 2010).



Gambar 1. Proses Pirolisis (R. P. Singh et al., 2011)

Langkah penting dalam pirolisis plastik meliputi:

1. Memanaskan plastik secara merata tanpa variasi suhu yang berlebihan.
2. Membersihkan oksigen dari ruang pirolisis.
3. Mengelola produk sampingan arang karbon sebelum berubah menjadi isolator termal dan menurunkan perpindahan panas ke plastik.
4. Kondensasi dan fraksinasi yang hati-hati dari uap pirolisis untuk menghasilkan distilat yang berkualitas baik dan konsistensi.

Keuntungan dari proses pirolisis meliputi :

1. Volume limbah berkurang secara signifikan (<50% – 90%).
2. Bahan bakar padat, cair, dan gas dapat dihasilkan dari limbah.
3. Stok bahan bakar / bahan kimia yang dapat disimpan / diangkut diperoleh.
4. Masalah lingkungan berkurang.
5. Merupakan energi diperoleh dari sumber terbarukan seperti limbah padat rumah tangga.
6. Biaya modal rendah (B. Singh & Sharma, 2008).

**Tabel 1.**  
Parameter Operasi Proses Pirolisis (Mohan et al., 2006)

<i>Parameters</i>	<i>Conventional</i>	<i>Fast</i>	<i>Flash</i>
<i>Pyrolysis Temperature (K)</i>	550 – 900	850 – 1.250	1.050 – 1.300
<i>Heating Rate (K/s)</i>	0,1 – 1	10 – 200	>1.000
<i>Particle Size (mm)</i>	5 – 50	<1	<0,2
<i>Solid Residence (s)</i>	300 – 3.600	0,5 – 10	<0,5

Ada berbagai jenis proses pirolisis. Pirolisis konvensional (pirolisis lambat) berlangsung di bawah tingkat pemanasan rendah dengan produk padat, cair, dan gas dalam porsi yang signifikan. Pirolisis konvensional merupakan proses kuno yang digunakan terutama untuk produksi arang. Uap dapat secara kontinyu dibuang. Pirolisis cepat dikaitkan dengan tar, pada suhu rendah (850 K – 1.250 K) dan atau gas pada suhu tinggi (1.050 K – 1.300 K). Saat ini, teknologi yang lebih dipilih adalah pirolisis cepat atau *flash* pada suhu tinggi dengan sangat waktu tinggal singkat. Pirolisis cepat (lebih akurat didefinisikan sebagai termolisis) adalah suatu proses di mana suatu bahan, seperti biomassa, dipanaskan dengan cepat ke suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Tabel 1 menunjukkan kisaran parameter operasi untuk proses pirolisis (A. Demirbas, 2007; Zhang et al., 2007).

### 3.2. Degradasi Katalitik

Dalam metode ini, katalis yang cocok digunakan untuk melakukan reaksi retak. Adanya katalis menurunkan suhu dan waktu reaksi. Proses terjadi pada distribusi produk nomor dan puncak atom karbon yang jauh lebih sempit pada hidrokarbon yang lebih ringan yang terjadi pada suhu yang lebih rendah. Biaya proses ini harusnya bisa lebih murah membuat proses lebih menarik dari perspektif ekonomi. Penggunaan ulang katalis dan penggunaannya dalam jumlah yang lebih sedikit dapat mengoptimalkan proses ini. Proses ini dapat dikembangkan menjadi proses daur ulang polimer komersial yang hemat biaya untuk memecahkan akut masalah lingkungan dari pembuangan limbah plastik. Proses ini juga menawarkan kemampuan retak dari plastik yang lebih tinggi, serta konsentrasi residu padat yang lebih rendah didalam produk (Aguado et al., 2008).

### 3.3. Gasifikasi

Dalam proses ini, pada tahap pertama pembakaran biomassa dilakukan secara parsial untuk menghasilkan gas dan arang dan pengurangan dari produk gas, terutama CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O oleh arang menjadi CO dan H<sub>2</sub>. Prosesnya juga menghasilkan beberapa metana dan hidrokarbon lain yang lebih tinggi (HCs) tergantung pada desain dan kondisi operasi reaktor. Secara umum, gasifikasi dapat didefinisikan sebagai konversi termokimia berbasis karbon padat atau cair menjadi produk gas yang mudah terbakar oleh senyawa gas lain (*gasification agent*). Senyawa gas tersebut memungkinkan bahan baku yang akan dikonversi dengan cepat menjadi gas dengan cara reaksi heterogen yang berbeda. Jika prosesnya tidak terjadi dengan bantuan zat pengoksidasi, maka disebut sebagai gasifikasi tidak langsung dan membutuhkan sumber energi eksternal dari *gasification agent*, karena mudah diproduksi dan meningkatkan kandungan hidrogen dari gas yang mudah terbakar (Katyal, 2007).

Sistem gasifikasi terdiri dari tiga hal mendasar elemen: (1) gasifier, berguna dalam menghasilkan gas yang mudah terbakar; (2) sistem pembersihan gas (*gas cleanup system*), diperlukan untuk membuang senyawa berbahaya dari gas yang mudah terbakar; (3) sistem pemulihan energi (*energy recovery stsem*). Sistem ini dilengkapi dengan subsistem yang sesuai, yang berguna untuk mengendalikan dampak lingkungan (udara polusi, produksi limbah padat, dan air limbah) (Cullis & Hirschler, 1981).

Proses gasifikasi merupakan alternatif masa depan dari insinerator limbah untuk pengolahan termal dari limbah berbasis karbon homogen dan untuk limbah heterogen yang telah diolah sebelumnya.

## 4. Kesimpulan

Penemuan plastik merupakan salah satu inovasi terbesar. Plastik digunakan secara umum dan besar karena mempunyai sifat yang ringan, tidak berkarat, tidak busuk, berbiaya rendah, serta dapat digunakan kembali. Literatur mengungkapkan bahwa telah dilakukan banyak upaya penelitian tentang pirolisis plastik di kondisi berbeda menggunakan katalis berbeda. Namun ada masalah yang harus dipecahkan antara lain skala yang diperlukan, minimalisasi penanganan biaya limbah dan biaya produksi, dan optimalisasi bahan bakar bensin untuk berbagai macam limbah atau campuran plastik.

Sejumlah besar limbah plastik yang dihasilkan dapat diolah dengan metode yang sesuai yang dirancang untuk menghasilkan bahan bakar pengganti bahan bakar fosil. Metode ini memiliki kelebihan dalam segala hal (ekologis dan ekonomis) jika ada infrastruktur yang tepat dan dukungan modal keuangan. Jadi, proses yang cocok yang dapat mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar hidrokarbon perlu didesain dan jika diimplementasikan akan dapat menjadi pengganti sebagian dari konsumsi minyak bumi tanpa menghasilkan polutan serta dapat juga mengurangi import minyak mentah.

Tantangannya saat ini adalah mengembangkan standar untuk proses dan produk plastik daur ulang dan untuk mengadopsi teknologi pirolisis yang lebih maju untuk pengolahan limbah plastik, mengacu pada pengamatan penelitian dan pengembangan di lapangan. Reaktor pirolisis harus dirancang agar sesuai dengan plastik limbah campuran dan produksi skala kecil dan menengah. Analisis yang tepat akan membantu mengurangi investasi modal dan juga biaya operasi dan dengan demikian akan meningkatkan kelayakan ekonomi dari proses tersebut.

### Daftar Pustaka

- Aguado, J., Serrano, D., & Escola, J. (2008). Fuels from Waste Plastics by Thermal and Catalytic Processes: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(21), 7982–7992. <https://doi.org/10.1021/ie800393w>
- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2010). 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*, 36(1), 103–129. <https://doi.org/10.1016/J.PECS.2009.09.001>
- Buekens, A. G., & Huang, H. (1998). Catalytic plastics cracking for recovery of gasoline-range hydrocarbons from municipal plastic wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 23(3), 163–181. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(98\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00025-1)
- Cullis, C. F., & Hirschler, M. M. (1981). The combustion of Organic Polymers. *Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition*, 20(11), 606. <https://doi.org/10.1002/pol.1982.130201115>
- Demirbas, A. (2007). Producing Bio-oil from Olive Cake by Fast Pyrolysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30(1), 38–44. <https://doi.org/10.1080/00908310600626747>
- Demirbas, Ayhan. (2009). Biorefineries: Current activities and future developments. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2782–2801. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2009.06.035>
- Huang, W. C., Huang, M. S., Huang, C. F., Chen, C. C., & Ou, K. L. (2010). Thermochemical conversion of polymer wastes into hydrocarbon fuels over various fluidizing cracking catalysts. *Fuel*, 89(9), 2305–2316. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2010.04.013>
- Katyal, S. (2007). Effect of Carbonization Temperature on Combustion Reactivity of Bagasse Char. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 29(16), 1477–1485. <https://doi.org/10.1080/00908310600710715>
- Kpre-daibo, T. S. (2009). Plastik Catalytic Degradation Study of the role of external catalytic surface , Catalytic Reusability and Temperature Effects. In University of London (Issue April). University of London.
- Mohan, D., Jr., C. U. P., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of Wood/Biomass. *Energy Fuels*, 20(3), 848–883. <https://doi.org/10.1021/ef0502397>
- Panda, A. K., Singh, R. K., & Mishra, D. K. (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products—A world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 233–248. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.07.005>
- Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 93(3), 561–584. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2007.11.008>
- Singh, R. P., Tyagi, V. V., Allen, T., Ibrahim, M. H., & Kothari, R. (2011). An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4797–4808. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.07.071>
- Wei, T. T., Wu, K. J., Lee, S. L., & Lin, Y. H. (2010). Chemical recycling of post-consumer polymer waste over fluidizing cracking catalysts for producing chemicals and hydrocarbon fuels. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 952–961. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2010.02.002>

Yoshioka, T., & Grause, G. (2006). Feedstock Recycling of PET. In J. Scheirs & W. Kaminsky (Eds.), *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels* (1st ed., pp. 641–661). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470021543.ch25>

Zhang, G. H., Zhu, J. F., & Okuwaki, A. (2007). Prospect and current status of recycling waste plastics and technology for converting them into oil in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(3), 231–239. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2006.11.007>