

KONVERSI LIMBAH PLASTIK SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF CONVERTING OF PLASTIC WASTE AS A SOURCE OF ENERGY ALTERNATIVE

Rahyani Ermawati

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian

ABSTRAK

Sampah masih menjadi masalah utama di negara-negara di dunia, termasuk Indonesia. Dari semua jenis sampah yang ada saat ini, sampah yang berasal dari plastik ternyata jumlahnya cukup besar. Penggunaan limbah plastik merupakan alternatif yang memungkinkan sebagai material penghasil energi. Proses *cracking* merupakan proses untuk mengubah limbah plastik dari rantai *alkyl* panjang *polyolefins* menjadi *hydrocarbons*. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengurangi limbah plastik tersebut menjadi material yang bermanfaat. Salah satunya adalah mengkonversi limbah plastik menjadi sumber energi. Pada kajian ini, dipaparkan beberapa metode yang telah berhasil diteliti dalam mengkonversi limbah plastik, diantaranya adalah proses pirolisis (*thermal cracking*), *hydrocracking* dan *hidroisomerisasi*. Selain metode dan proses yang digunakan, jenis katalis yang digunakan dalam proses ternyata mempengaruhi tinggi rendahnya komposisi produk yang dihasilkan yaitu gas, cairan dan padatan yang terbentuk. Dengan dikembangkannya metode tersebut, diharapkan limbah plastik yang selama ini masih menjadi permasalahan serius di masyarakat dapat menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi kepentingan manusia dan lingkungan.

Kata kunci: Limbah plastik, Konversi, Energi, Katalis, Pirolisis

ABSTRACT

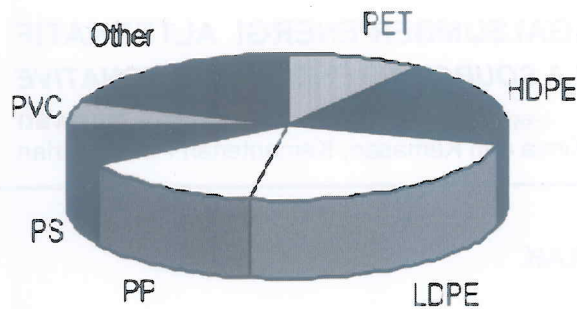
Garbage become the main environment problem in all of countries, including Indonesia. From various kinds of garbage waste, plastics are the biggest one. Converting plastic waste into source of energy is an alternative. Cracking process are proposed for converting plastic waste from long alkyl chains of the polyolefins to valuable hydrocarbons. Many researcher has investigated to study converting plastic to valuable materials as a sources of energy. This paper introduces some of those methods which are researched for converting this plastic waste. Some of those methods are pyrolysis (*thermal cracking*), *hydro-cracking*, and *hydro-isomerization*. Besides kinds of methods and processes which is used, the type of catalyst also affects product composition i.e gas, liquid and solid. However, improvement of those methods is necessary to get the valuable result. Finally, we hope that plastic waste, which is a main problem in many country, could be solve as an useful thing for human being life and environment.

Keywords: Plastic waste, Converting, Catalyst, Energy, Pyrolysis

PENDAHULUAN

Seiring bertambahnya jumlah penduduk dunia, konsumsi akan barang-barang berbahan plastik semakin meningkat. Menurut data statistik, kebutuhan plastik di Eropa Barat 100 kg per orang per tahun (APME, 2004), sedangkan di Jepang, jumlah limbah plastik mencapai lebih dari 10 juta ton per tahun (Nishino, *et. al.*, 2003). Meningkatnya jumlah permintaan plastik disebabkan karena plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan bahan lainnya. Barang berbahan baku plastik umumnya lebih ringan, bersifat isolator, dan proses pembuatannya lebih murah. Plastik yang banyak terdapat di masyarakat banyak berasal dari bahan *polyethylene*. *Polyethylene*

sendiri dibagi menjadi dua, yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE). HDPE banyak digunakan sebagai botol minum, sedangkan LDPE banyak digunakan sebagai kantong plastik. Selain pengelompokan plastik seperti di atas, plastik secara komersial dikenal dengan berbagai macam nama. Penamaan ini dibuat berdasarkan bahan penyusunnya. Jenis-jenis plastik tersebut adalah *polyethylene* (PE), *poly vinyl chlorida* (PVC), *poly propylen* (PP), *poly methyl methyl acrylaat* (PMMA), *acrylonitril butadien styreen* (ABS), *poly amide* (PA), *polyester* (cairan pengeras dan perapat), dan *poly ethylene terephthalate* (PET) (<http://info.gexcess.com/id/info/Pe> ngertiandanJenis_Jenis_Plastik.info).



Keterangan: HDPE (High Density Polyethylene), LDPE (Low Density Poly Ethylene), PET (Poly Ethylene Terephthalate), PP (Poly Propylene), PS (Poly Styrene), PVC (Poly Vinyl Chloride)

Gambar 1. Distribusi plastik pada pembuangan akhir (Miller, 2005)

Namun dibalik semua kelebihanannya, bahan plastik memiliki masalah setelah barang tersebut tidak digunakan lagi. Barang berbahan plastik tidak dapat membusuk, tidak dapat menyerap air, maupun tidak dapat berkarat, dan pada akhirnya tidak dapat diuraikan/didegradasi dalam tanah sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan. Limbah plastik yang ada pada saat ini pada umumnya hanya dibuang (*landfill*), dibakar atau didaur ulang (*recycle*). Proses tersebut belum menyelesaikan semua permasalahan limbah plastik, karena proses *landfill* belum dapat menguraikan limbah plastik, apabila dibakar pada suhu rendah, limbah plastik menghasilkan senyawa yang berbahaya yang bersifat karsinogen seperti *poly chloro dibenzodioxins* dan *poly chloro dibenzofurans*.

Untuk menghilangkan sifat karsinogen akibat pembakaran, limbah plastik tersebut dibakar pada suhu tinggi hingga 1000 °C sehingga tidak ekonomis. Daur ulang limbah plastik merupakan satu-satunya cara yang dapat mengurangi jumlah limbah plastik yang ada. Namun kenyataannya hanya sedikit dari limbah plastik yang dapat didaur ulang dan bahan hasil daur ulang mempunyai kualitas yang rendah sehingga metode daur ulang dipandang tidak efisien untuk memecahkan masalah limbah plastik. Untuk itu dicari cara lain untuk mengatasi limbah plastik untuk dijadikan suatu produk yang lebih berguna dan bermanfaat bagi masyarakat pada masa yang akan datang. Bagaimanapun juga dilihat

dari bahan dasarnya limbah plastik berpotensi mempunyai nilai ekonomis sebagai sumber bahan baku jika diolah dengan cara yang tepat yaitu akan menghasilkan hidrokarbon sebagai bahan dasar energi.

Dalam tulisan ini dibahas mengenai kemungkinan penggunaan limbah plastik sebagai sumber energi alternatif, disamping itu juga dipaparkan beberapa tulisan diluar negeri yang telah berhasil.

PROSES KONVERSI LIMBAH PLASTIK

Selama ini, sumber energi yang banyak digunakan dalam kehidupan masyarakat berasal dari fosil, baik dari batubara maupun minyak bumi. Seperti yang telah diketahui, sumber energi ini memiliki jumlah yang terbatas sehingga akan semakin menipis jika dieksploitasi secara terus-menerus demi kepentingan manusia. Maka dari itu para peneliti di seluruh dunia telah mengembangkan berbagai penemuan mengenai sumber energi yang dapat diperbarui sejak beberapa dekade yang lalu. Sumber-sumber energi tersebut antara lain energi *geothermal*, energi solar, hidro-energi, biomass, biogas, *biofuel*, energi dari angin dan lain-lain. Sumber-sumber energi ini dapat kita peroleh di berbagai lokasi di dunia, termasuk di Indonesia. Namun, walaupun jumlahnya melimpah dan selalu tersedia, sumber-sumber energi ini juga tidak luput dari berbagai kekurangan. Jika dibandingkan dengan sumber energi yang berasal dari fosil, sumber-sumber energi ini mengalami permasalahan pada mahalnya biaya pengolahan dan sulitnya mengumpulkan sumber-sumber energi tersebut agar dapat mencukupi kapasitas yang diinginkan untuk dikonsumsi, seperti biogas, walaupun teknologi pengolahannya tidak mahal, namun teknik pengumpulan dan pemisahan sampah dari berbagai tempat susah untuk dilakukan.

Seperti yang kita ketahui, limbah plastik menjadi ancaman serius bagi lingkungan tempat kita tinggal. Berbagai upaya dilakukan untuk meminimalisasi jumlah sampah plastik yang kian hari kian meningkat. Salah satu upaya baru yang telah dilakukan oleh peneliti kita adalah mengubah limbah plastik

tersebut menjadi sumber energi baru. Walaupun penelitian ini bisa dibilang baru, namun penelitian ini telah diuji keberhasilannya oleh beberapa peneliti.

Proses pengolahan limbah plastik menjadi minyak penggerak mesin meliputi beberapa tahapan/ proses yaitu:

1. Proses Pirolisis

Pirolisis adalah teknik pembakaran sampah (limbah plastik) tanpa O_2 dan dilakukan pada suhu tinggi yaitu antara $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teknik ini mampu menghasilkan gas pembakaran yang berguna dan aman bagi lingkungan. Teknologi pirolisis ini dapat dikatakan sebagai metode yang ramah lingkungan sebab produk akhirnya menghasilkan CO_2 dan H_2O , yang merupakan gas non toksik. Proses pirolisis menghasilkan senyawa-senyawa hidro-karbon cair mulai dari C_1 hingga C_4 dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin.

2. Proses Hydrotreating/Hydrocracking

Yaitu proses penyulingan untuk memisahkan unsur-unsur yang dihasilkan pada proses pirolisis. Proses ini bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan senyawa aromatik dan senyawa polar.

3. Proses Hidro-isomerisasi

Pada proses ini digunakan katalis khusus yang berfungsi menjadikan molekul-molekul isomer mempunyai viskositas yang tinggi.

Penelitian dalam mengubah limbah plastik menjadi minyak pelumas telah dibuktikan oleh Stephen J. Miller bersama rekan-rekannya (2005) dalam publikasi penelitiannya pada Jurnal *American Chemical Society*. Pada penelitian tersebut, Miller memanaskan plastik *polyethylene* menggunakan metode pirolisis. Metode pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa oksigen dengan suhu tinggi ($800\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) ini ramah lingkungan karena menghasilkan gas CO_2 & H_2O . Selain gas, ketika dipanaskan, *polyethylene* juga membentuk suatu senyawa hidrokarbon cair mulai dari C_1 hingga C_4 ,

dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin yang memiliki bentuk mirip wax (lilin). Banyaknya plastik yang terurai adalah sekitar 60 %, suatu jumlah yang cukup banyak. Laju degradasi konversi *polyethylene* menjadi hidrokarbon cair telah diteliti oleh Lee *et.al.* (2003). Struktur kimia yang dimiliki senyawa hidrokarbon cair tersebut memungkinkan untuk diolah menjadi minyak pelumas berkualitas tinggi. Hal ini disebabkan karena sifat kimia senyawa hidrokarbon cair dari hasil pemanasan limbah plastik mirip dengan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah sehingga dapat diolah menjadi minyak pelumas (Miller, *et.al.*, 2005).

Pengubahan hidrokarbon cair hasil pirolisis limbah plastik menjadi minyak pelumas dapat dilakukan dengan menggunakan metode hidroisomerisasi dan *hydro-cracking*. Hidroisomerisasi merupakan proses yang menggunakan katalis khusus yang berfungsi menjadikan molekul-molekul isomer mempunyai viskositas yang tinggi, tingkat titik beku yang rendah dan menjadikan pelumas dasar yang iso-paraffinik. Sedangkan pada *hydro-cracking*, hasil dari proses pirolisis dimasukkan ke dalam tungku penyulingan pada tekanan atmosfer dan kemudian divakum untuk memisahkan unsur-unsur yang dihasilkan dari proses awal. Proses ini berguna dalam mengurangi/ menghilangkan komponen aromatik dan komponen polar yang dihasilkan dari proses pirolisis. Pada penelitian Miller (2005), perubahan hidrokarbon cair menjadi minyak pelumas dilakukan dengan menggunakan metode hidro-isomerisasi.

Sebenarnya usaha pembuatan minyak sintetis dari senyawa hidrokarbon cair ini bukanlah suatu hal yang baru. Pada 1990-an, perusahaan *Chevron* telah mencoba mengubah senyawa hidrokarbon cair menjadi bahan bakar sintetis untuk tujuan komersial. Hanya saja bahan baku yg digunakan untuk menghasilkan senyawa hidrokarbon cair berasal dari gas alam (umumnya gas metana) melalui proses katalitik yang dikenal nama proses *Fischer-Tropsch*. Pada proses ini, gas metana diubah menjadi gas sintetis (*syngas*), yaitu campuran antara gas hidrogen dan karbonmonoksida, dengan bantuan besi

atau kobalt sebagai katalis. Selanjutnya, *syngas* ini diubah menjadi senyawa hidrokarbon cair, untuk kemudian diolah menggunakan proses *hydro-cracking* menjadi bahan bakar dan produk minyak bumi lainnya, termasuk minyak pelumas. Senyawa hidrokarbon cair hasil pengubahan dari *syngas* mempunyai sifat kimia yang sama dengan *polyethylene*.

Walendziewski, *et. al.* (2001) juga meneliti penguraian limbah *polyethylene* dan *polystyrene* dengan suhu tinggi atau dengan bantuan katalis dan penambahan hidrogen pada *autoclave* tertutup. Penelitian ini membandingkan fraksi cairan yang didapat dengan menggunakan katalis *hydrocracking*, diidentifikasi memiliki kisaran titik didih rendah dan kandungan senyawa hidrokarbon tidak jenuh jika dibandingkan dengan fraksi cairan yang didapat dengan menggunakan katalis peruraian atau *thermal cracking*. Hasil analisa menunjukkan suhu optimum penguraian poliolefin secara *thermal* adalah 410 °C sampai 430 °C.

Proses pengubahan hidrokarbon cair hasil pirolisis menjadi minyak pelumas dengan metode *hydro-cracking* juga telah berhasil dilakukan oleh Suat Ucar, *et.al.* (2001). Mereka meneliti proses perubahan *LDPE*, *PP*, *PVC/LDPE* dan *PVC/PP* dengan menggunakan sistem *hydrocracking* pada *refinery*. Pada percobaan ini, *LDPE* atau *PP* ditambahkan pada *vacuum gas oil* (*VGO*). Campuran tersebut di-*hydrocracking* dengan menggunakan katalis *HZSM - 5*, Cobalt dengan karbon aktif (*Co-AC*) dan *DHC-8* (katalis komersil silika-alumina) pada *batch autoclave* dengan suhu 425 °C sampai 450 °C. Pada campuran *PVC/PP/VGO* atau *PVC/PE/VGO*, campuran terlebih dahulu dideklorinasi pada suhu 350 °C sebelum di-*hydrocracking*. Penambahan polimer pada *VGO* mempengaruhi penguraian *VGO* yang berakibat pada penurunan hasil gas dan kenaikan pada hasil cairan.

KATALIS

Pada proses konversi limbah plastik menjadi sumber energi, katalis memegang peranan penting dalam kualitas hidrokarbon yang

dihasilkan. Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran, katalis juga berperan untuk menurunkan konsentrasi klorida (*Cl*) yang ada pada cairan yang terbentuk sebagai hasil produk pembakaran. Katalis yang digunakan pada umumnya adalah *zeolite*, *polysilicate component*, *pseudoboehmite component* dan *clay component*

Dari tabel 1 terlihat bahwa penggunaan katalis akan menurunkan konsentrasi klorida pada fraksi cair dan menaikkan phase konsentrasi gas hidrokarbon *C₁-C₄*. Penelitian mengenai pengaruh katalis terhadap proses konversi limbah plastik menjadi sumber energi dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya adalah Sakata, *et. al.* (1996) yang mempelajari degradasi katalitik dari *PP* dan *PE* oleh katalis silika-alumina pada reaktor semi *batch*.

Tabel 1. Perbandingan distribusi hasil prodak pembakaran limbah plastik pada suhu pembakaran dan penggunaan katalis.

	T = 350°C	T = 440°C
Non-katalis		
Product distribution (%) w/w)		
Solid	34.6	24.4
Liquid	3.2	4.2
Gas	62.2	71.4
Cl distribution (ppm)		
Solid	427	1242
Liquid	213000	67800
C ₁ -C ₄ (mole %)	2.7	5.1
C ₂ H ₆ /C ₂ H ₄	0.6	1.3
Katalis (+Pd/Al₂O₃)		
Product distribution (%) w/w)		
Solid	34.7	22.9
Liquid	4.2	9.4
Gas	61.1	97.7
Cl distribution (ppm)		
Solid	1485	2994
Liquid	378	182
C ₁ -C ₄ (mole %)	3.9	7.9
C ₂ H ₆ /C ₂ H ₄	2.4	21.2

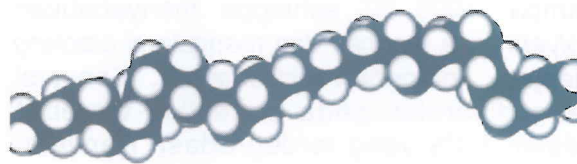
(Keane, 2007)

Berdasarkan penelitian tersebut, ternyata silika-alumina efektif dalam meningkatkan laju degradasi dan produksi minyak pelumas. Mereka juga mempelajari pengaruh jenis katalis lainnya terhadap degradasi polimer, seperti zeolit yang digunakan sebagai katalis pada proses degradasi *PP* & *PE* yang ternyata menghasilkan produk cair lebih rendah dibandingkan dengan gas (Uddin, *et. al.*, 1997). Sedangkan Aguado, *et. al.* (2000) meneliti pengaruh zeolit beta pada degradasi *PP*, *LDPE* dan *HDPE* pada suhu 400 °C didalam reaktor *batch*. Hasilnya menunjukkan bahwa degradasi *HDPE* menghasilkan selektifitas tinggi untuk produk $C_5 - C_{12}$ (70 % berat), sedangkan untuk penguraian *LDPE* dan *PP*, selektifitas menjadi *gasoline* berkurang (sekitar 64 % berat) tetapi proporsi untuk produk $C_1 - C_4$ lebih tinggi. Aktivitas zeolit dalam degradasi polimer bervariasi tergantung perbedaan struktur kimia dan komposisinya (Mordi, *et. al.*, 1994).

Nishino, *et. al.* (2003) meneliti degradasi katalitik dengan menggunakan *H-gallosilicates* yang dilakukan di reaktor skala *batch* dengan bahan baku diumpukan secara semi kontinyu. Bahan baku yang digunakan adalah polyolefin dan bahan plastik lainnya yang berbentuk pellet yaitu *LDPE*, linear *LDPE*, *HDPE* dan *polypropylene*. Hasil menunjukkan bahwa komposisi *propylene*, *isobutene* dan iso butan meningkat.

PEMBAHASAN

Limbah plastik yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dapat diolah menjadi energi. Proses perombakan limbah plastik menjadi energi dikenal dengan istilah *cracking* atau perengkahan. Perengkahan yang terjadi pada plastik merupakan pemutusan ikatan rantai karbon penyusun plastik. Plastik tersusun atas molekul hidrocarbon yang berasal dari fraksi minyak bumi. Plastik yang mempunyai struktur paling sederhana adalah *polyethylene (PE)*, umumnya susunan molekul dari *PE* terdiri dari sekitar 1000 atom karbon didalam tulang punggungnya (http://www.plastic.web.id/id/plastic_chemistry).



Gambar 2. Struktur Kimia Penyusun Plastik Jenis *Polyethylene (PE)*
(<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ethylene-3D-vdW.png>)

Hasil diperoleh dari proses perengkahan dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, karena memiliki fraksi yang sama dengan komponen minyak bumi. proses perengkahan limbah plastik menjadi energi umumnya menggunakan reaktor katalitik terfluidisasi atau *fluidized bed reactor*. Dalam reaktor, terjadi kontak antar fluida gas dengan limbah plastik. Kontak ini akan menyebabkan terbawanya material hidrokarbon yang telah mengalami *cracking* atau perengkahan. Pada proses kontak antara fluida gas dengan limbah plastik, sering terjadi penyebaran fluida gas yang tidak merata saat proses kontak berlangsung. Hal ini disebabkan karena adanya penggelembungan (*bubbling*), penorakan (*slugging*) dan saluran-saluran fluida yang terpisah (*channeling*) (Satrio, 2008). *Channeling* adalah tidak meratanya penyebaran fluida pada seluruh permukaan limbah plastik, sehingga menyebabkan hanya sebagian dari limbah plastik yang berkontak dengan fluida. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan kualitas *yield* yang diperoleh selama proses pirolisis limbah plastik. Selain ketiga faktor tersebut, faktor lain yang berpengaruh adalah kecepatan minimum fluidisasi yang didefinisikan sebagai kecepatan minimal yang dibutuhkan untuk proses fluidisasi terjadi (Satrio, 2008). Kecepatan fluidisasi mempengaruhi kontak antara fluida yang digunakan dalam proses konversi dengan limbah plastik. Kontak yang terjadi menyebabkan ikatan antara molekul fluida dengan molekul hidrokarbon dari hasil *cracking* limbah plastik, yang selanjutnya diolah menjadi energi.

Pada penelitian yang dilakukan Miller *et.al.* (2005), bahan baku berupa *polyethylene* dipanaskan hingga mencapai suhu 800 °C

sampai 1000 °C sehingga menyebabkan *polyethylene* mencair dan mengalami *cracking* menjadi komponen hidrokarbon. Konversi yang diperoleh pada penelitian tersebut adalah 60% yang terdegradasi. Konversi yang diperoleh belum optimal, hal ini dimungkinkan karena terjadi *channeling* pada reaktor dan kecepatan minimum fluidisasi yang digunakan tidak sesuai dengan kebutuhan proses tersebut.

Penelitian mengenai pengaruh katalis terhadap konversi limbah plastik menjadi energi dilakukan oleh Aguado, *et. al.* (2006) yang membahas mengenai pengaruh zeolit beta pada degradasi *PP*, *LDPE* dan *HDPE* pada suhu 400 °C di dalam reaktor *batch*. Hasilnya menunjukkan bahwa degradasi *HDPE* menghasilkan selektifitas tinggi untuk produk $C_5 - C_{12}$ (70 % berat). Sedangkan Lee, *et al* (2003) meneliti tentang degradasi *polyethylene* (*HDPE*) dan polistiren (*PS*) dengan bantuan katalis *FCC* (*fluid catalytic cracking*) dan beroperasi pada suhu 400 °C. Dari percobaan diperoleh bahwa gasoline yang terbentuk dari *HDPE* sebesar 86% dan sebesar 98% yang berasal dari *PS*. Dari penelitian yang dilakukan Aguado, *et.al.* (2006) dan Lee, *et al* (2003), jika dibandingkan dengan yang dilakukan oleh Miller *et.al.* (2005), dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan *yield*. Hal ini disebabkan karena adanya katalis dapat mempercepat reaksi dan memudahkan proses perengkahan pada proses pirolisis limbah plastik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dilihat dengan tingginya harga minyak dunia dalam beberapa waktu terakhir yang meroket hampir mencapai 100 dolar per barrel, sehingga akan berdampak terhadap kenaikan besarnya subsidi yang dilakukan pemerintah terhadap BBM. Salah satu program pemerintah untuk mengurangi ketergantungan terhadap BBM adalah diversifikasi energi. Berdasarkan pemanfaatannya, salah satu bahan bakar yang dapat menggantikan BBM sekarang ini secara langsung adalah *biofuel* (bahan bakar nabati). Dalam hal ini, *biofuel* dibatasi pada biodiesel, biokerosen dan bio-etanol.

Walaupun Landasan Hukum pengembangan *biofuel* di Indonesia ditandai dengan Instruksi Presiden No 1 Tahun 2006 Mengenai Bahan Bakar Nabati dan Peraturan Presiden No 5 tahun 2006 Mengenai Kebijakan Pemakaian Bahan Bakar Nabati sebesar 5% pada tahun 2025, namun kenyataannya, proses pemakaian *biofuel* secara nyata masih memerlukan jangka waktu yang lama untuk sampai dihasilkannya produk siap pakai. Sampai saat ini penelitian di Indonesia baru pada skala laboratorium misalnya di Universitas Gadjah Mada, tetapi penerapannya skala industri belum dilakukan.

Ternyata dengan memanfaatkan limbah plastik yang ada seperti yang tersebut di atas, banyaknya plastik yang akan terurai sekitar 60 % menjadi hidrokarbon cair (Miller, 2005). Tingginya kualitas minyak pelumas yang dihasilkan dari limbah plastik pada penelitian ini menandakan bahwa penelitian ini cukup berhasil dan sangat berguna bagi kelangsungan energi dan bahan bakar dunia di masa yang akan datang. Untuk itu Indonesia sewajarnya mempelajari atau menggiatkan penelitian yang memanfaatkan limbah plastik yang ada, sebelum limbah plastik menjadi masalah yang serius di masa sekarang dan masa yang akan datang. Untuk itu, tahap pertama pemerintah wajib menggalakkan disiplin masyarakat dalam pemisahan sampah saat pembuangan sampah, misalnya sampah organik, sampah kaleng bekas dan sampah plastik. Hal ini untuk lebih mempermudah dalam pengolahan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aguado, J. Serrano, D.P. Escola, J.M., Garagorri E. Fernandez, J. A. 2000, "Catalytic Conversion Polyolefins Into Fuels Over Zeolite Beta", *Polym. Degrad. Stab.*, 70 (1) 97.
2. Aguado, J., Serrano, D.P., San Miguel, G., Escola, J. M., and Rodriguez, J. M., 2006, "Catalytic Activity of Zeolitic and Mesostructured Catalysts in The Cracking of Pure and Waste

- Polyolefins", *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 78, 153 – 161.
3. Anonim, 2004, Summary Report : An Analysis of Plastic Consumption and Recovery in Europe 2002 & 2003, Association of Plastic Manufacturers in Europe (APME), Brussel, Belgium.
 4. Keare, M.A., 2007, "Catalytic Conversion of Waste Plastics : Focus on Waste PVC", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 82, 787-795.
 5. Lee, K.H., Shin, D.H., and Seo, Y.H., 2003, "Liquid -Phase Catalytic Degradation of Mixture of Waste High Density Polyethylene and Polystyrene Over Spent FCC Catalyst, Effect of Mixing Proportions of Reactants", *Polym. Degrad. Stab.*, 84, 123-127.
 6. Miller, S. J., Shah, N., and Huffman, G.P., 2005, "Conversion of Waste Plastic to Lubrican Base Oil", *American Chemical Society*, 19 (4), 1580-1586.
 7. Mordt, R.C., Fields, R., and Dwyer, J., 1994, "Thermolysis of low density polyethylene catalysed by zeolites", *J. Anal. Appl. Pyrol.* (29) 45.
 8. Nishino, J., Itoh, M., Ishinomori, T., Kubota, N., and Uemichi, Y., 2003, "Development of a Catalytic Cracking Process for Converting Waste Plastics to Petrochemicals", *J. Mater. Cycle. Waste. Manag.*, 5, 89 – 93.
 9. Sakata, Y., Uddin, M.A., Muto, A., Narazaki, K., Murata, K., and Kaji, M., 1996, "Thermal and Catalytic Degradation of Municipal Waste Plastics into Fuel Oil", *Polym Recycling*, 2(4), 309.
 10. Sakata, Y., Uddin, M. A., and Muto, A., 1999, "Degradation of polyethylene and polypropylene into fuel oil by using solid acid and non-acid catalysts", *J. Anal. Appl. Pyrol.*, Vol. 51, No. 1–2. P. 135–155.
 11. Sakata, Y., Uddin, M.A., Koizumi, K., and Murata, K., 1996, "Catalytic Degradation of Polypropylene into Liquid Hydrocarbons Using Silica- Alumina Catalyst", *Chem. Lett*, 245-246.
 12. Satrio, 2008, *Modul Fluidisasi*, Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.
 13. Ucar, S., Karagoz, S., Karayildirim, T., and Yanik, J., 2001, "Conversion of Polymers to Fuel in A refinery Stream", *Polym. Degrad. Stab.*, 75, 161 – 171.
 14. Uddin A., Koizumi K. and Sakata Y., 1997, "Thermal and Catalytic Degradation of Structurally Different Types of Polyethylene Into Fuel Oil", *Polym. Degrad. Stab.*, 56, 37.
 15. Walendziewski, J., and Steininger, M., 2001, "Thermal and Catalytic Conversion of Waste Polyolefins", *Catalysis Today*, 65, 323 – 330.
 16. http://info.gexcess.com/id/info/PengertianJenis_Jenis_Plastik.info, 30 januari 2010.