

Konversi Minyak Plastik LDPE menjadi Gasoline dengan Supercritical Water Liquefaction

Conversion of LDPE Plastic Oil to Gasoline by Supercritical Water Liquefaction

Enggar Ira Elyana, Febriyati, Fathor Rohim, Rafael Arthorito Rusdy, Diva Luckyta Sari, Hendro Juwono*)

Departemen Kimia, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

*E-mail: nehin66@chem.its.ac.id

ABSTRACT

LDPE (Low Density Polyethylene) is one of the plastic waste that is often found in the surrounding environment. Based on data from the National Waste Management Information System (SIPSN) in 2022, waste in Indonesia reached 17.834.071 tons/year with 18.5% being plastic waste. Plastic waste management generally uses recycling. However, recycling plastic waste is not efficient enough in tackling plastic waste in Indonesia. Recently, a promising alternative recycling method for the future is pyrolysis, a process to convert plastic into fuel oil. However, the pyrolyzed oil still contains impurities that reduce the quality of the oil. As an effort to improve the quality of pyrolysis oil, the author proposes the addition of zeolite catalyst in the pyrolysis process followed by the Supercritical Water Liquefaction (SWL) method. The zeolite catalyst aids the degradation process thereby accelerating the reaction rate. The SWL method is able to convert plastic waste into low molecular weight chemicals. The results obtained will be analyzed by gas chromatography mass spectroscopy (GC-MS) to determine the length of the carbon chain in the sample. Based on the chromatography data, it is found that the number of peaks and retention times show carbon chains ranging from C₈-C₁₂, from these results it can be identified that the sample is included in kerosene or kerosene compounds. After the SWL process, the percentage of kerosene and diesel is reduced to 11% gasoline. So the Supercritical Water Liquefaction process is proven to break down long hydrocarbon chains into lighter ones.

Keywords: Destillation, catalyst, pyrolysis, supercritical water liquefaction, zeolit.

PENDAHULUAN

Berdasarkan data pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2022. Sampah di Indonesia mencapai 17.834.071 ton/tahun. Dengan 18,5% merupakan sampah plastik. Plastik LDPE umumnya digunakan pada kantong kersek dan pembungkus makanan. Pengelolaan sampah plastik, secara umum menggunakan cara daur ulang. Namun daur ulang sampah plastik, tidak cukup efisien dalam penanggulangan sampah plastik di Indonesia (Rahmadanty, 2022). Metode yang saat ini digunakan adalah pirolisis. Minyak hasil pirolisis termasuk dalam bahan bakar jenis kerosin yang merupakan minyak dengan hidrokarbon rantai panjang C₂₀ (Novarini *et al.*, 2021). Pada riset ini, minyak C₂₀ akan di putus dengan menggunakan metode SWL menjadi hidrokarbon dengan fraksi ringan C₈. Bahan bakar jenis gasoline (bensin) memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan dengan bahan bakar kerosin (minyak tanah). Ditinjau dari karakteristiknya, bahwa bahan bakar bensin memiliki nilai densitas yang lebih tinggi. Maka, bahan bakar bensin tidak mudah

terbakar dan cenderung lebih aman. Bahan bakar bensin memiliki nilai kalor jauh lebih besar, yang berarti bahwa bahan bakar bensin akan memiliki jumlah energi pada setiap massa jenisnya yang lebih besar dari pada bahan bakar kerosin (Rahmadanty, 2022). Emisi karbon yang dihasilkan oleh gasoline hasil plastik memiliki nilai 93% lebih rendah daripada gasoline yang berasal dari bahan fosil (Fahim *et al.*, 2021). Pengembangan metode diperlukan untuk menghasilkan bahan bakar minyak dengan fraksi ringan berupa gasoline, salah satunya ialah metode SWL.

Supercritical Water Liquefaction (SWL) merupakan metode yang mampu mengubah limbah plastik menjadi bahan kimia dengan berat molekul rendah. SWL membutuhkan air yang berfungsi sebagai pelarut, reaktan, atau katalis (Jin *et al.*, 2021). Titik kritis air mencapai 374,3°C dan bertekanan 22,1 MPa (Zheng *et al.*, 2020). Tekanan yang dihasilkan pada kondisi air superkritis ini digunakan untuk mengubah komposisi hidrokarbon bahan bakar minyak hasil pirolisis juga dengan adanya katalis zeolit sintesis (Aswan *et al.*, 2020). Karakter bahan

bakar terbarukan yang diharapkan adalah bahan bakar minyak dengan fraksi hidrokarbon ringan.

Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan konversi plastik LDPE menjadi bahan bakar terbarukan menggunakan katalis zeolit dilanjutkan dengan metode SWL untuk mengembangkan bahan bakar menjadi produk yang lebih bermanfaat sebagai alternatif fuel. Katalis yang akan digunakan dalam riset ini berupa zeolit sintesis karena membantu proses degradasi sehingga mempercepat laju reaksi, serta menggunakan reaktor SWL. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan produksi alternatif bahan bakar terbarukan, serta untuk mengurangi sampah plastik LDPE yang semakin meningkat tiap tahunnya.

METODE

Pretreatment Plastik LDPE

Sampel dipreparasi terlebih dahulu, yaitu limbah plastik LDPE dibersihkan dengan dicuci dan dijemur selama sehari. Sebelumnya sampel dilakukan analisis FTIR untuk melihat gugus fungsinya. Lalu limbah plastik LDPE di potong ukuran kecil 3x3 cm.

Proses Pirolisis Limbah Plastik LDPE

Plastik LDPE lalu dimasukkan pada reaktor. Katalis zeolit sintesis berbentuk serbuk, dilakukan pemadatan menjadi bentuk pelet silinder. Pelet katalis zeolit sintesis, ditimbang diperoleh berat sebanyak 3 gram. Lalu di masukan ditempat katalis pada rangkaian reaktor. Kemudian dimasukan gas H₂ hingga 2 bar pada reaktor untuk menghilangkan oksigen didalamnya. Setelah itu, dimasukan gas N₂ pada reaktor hingga 2 bar. Selanjutnya, furnace di nyalakan hingga suhu 475°C, suhu di naikan secara bertahap. Tekanan dibiarkan naik hingga 10 bar. Ketika tekanan mencapai 10 bar, valve pada reaktor dibuka kecil hingga tekanan turun menjadi 5 bar. Setelah tekanan turun valve ditutup kembali, dan dibiarkan hingga tekanan kembali pada 10 bar, dilakukan hal yang sama dengan sebelumnya. Proses ini dilakukan hingga tekanan tidak naik lagi, yang berarti gas telah habis keluar dari reaktor. Gas yang keluar melewati katalis lalu terkondensasi. Kondensasi dilakukan dengan menggunakan es batu kristal, seluruh permukaan luar tempat penampung diberi es batu kristal. Pada sampel 100 gram limbah plastik LDPE, dengan kondisi operasional diatas. Proses pirolisis berlangsung selama 5 jam. Setelah minyak habis terkondensasi, tempat penampung dibuka dan dikeluarkan minyak hasil pirolisis. Minyak hasil pirolisis di hitung volumenya, lalu dimasukan pada botol reagen dan ditambahkan toluena. Proses ini dilakukan agar minyak hasil pirolisis tidak teroksidasi.

Proses Destilasi Minyak Hasil Pirolisis Limbah Plastik LDPE

Setelah diperoleh minyak hasil pirolisis, dilakukan proses destilasi. Proses destilasi di lakukan dengan

rangkaian alat destilasi, selama 3 jam. Suhu proses destilasi di jaga pada 70°C. Hal tersebut dikarena titik didih dari minyak tersebut adalah 70°C. Serta dijaga air yang mengalir pada kondensor agar minyak dapat terkondensasi sempurna. Setelah proses berhenti, minyak didiamkan pada suhu ruang selama 1 jam. Kemudian minyak setelah destilasi di hitung volumenya, dan di masukan pada botol reagen. Minyak hasil pirolisis setelah didestilasi di tambahkan toluena 3 tetes. Selanjutnya akan dilakukan analisis GC-MS pada minyak pirolisis setelah dan sebelum destilasi untuk mengetahui gugus fungsi hidorkarbonyanya.

Proses Supercritical Water Liquefaction

Pada tahap ini dilakukan dengan kondisi operasional pada suhu 250°C dan tekanan 10 bar. Volume air untuk mencapai supercritis di hitung dengan rumus persamaan van der Waals:

$$V = P + a \left(\frac{n}{v} \right)^2 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

V = Volume

P = Tekanan gas

a = Konstanta empiris

$\frac{n^2}{v^2}$ = Perbandingan kuadrat jumlah mol (n) dengan kuadrat volume gas (v)

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh volume air sebanyak 66 mL. Sampel di masukan pada tabung stainless steel sebanyak 10 mL. Kemudian tabung di tutup rapat, dan dimasukan kedalam reaktor yang telah berisi air sebanyak 66 mL. Lalu, reaktor di tutup rapat dan dimasukan pada furnace. Suhu pada furnace diatur secara bertahap mencapai 250°C dan tekanan 10 bar. Proses ini dilakukan 30 sampai 45 menit. Suhu dan tekanan dibiarkan stabil selama 10 menit kemudian suhu dan tekanan diturunkan secara bertahap. Ketika suhu dan tekanan sudah pada kondisi ruang, reaktor di diamkan selama satu jam agar suhu didalam reaktor turun. Setelah reaktor tidak terlalu panas, reaktor dan tabung dibuka dan minyak hasil supercritical water liquefaction di hitung volumenya. Kemudian minyak hasil dimasukan kedalam botol reagen dan dilakukan analisis GC-MS.

Pengujian Hasil Densitas Minyak

Perhitungan densitas atau massa jenis hasil minyak LDPE sebagai berikut:

$$\rho_{minyak} = \frac{m_1 - m_2}{V} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

m₁ = massa piknometer isi (gram)

m₂ = massa piknometer kosong (gram)

V = volume piknometer (mL)

Pengujian Hasil Viskositas Minyak

Perhitungan viskositas hasil minyak LDPE sebagai berikut:

$$\frac{\text{viskositas air}}{\text{viskositas minyak}} = \frac{\rho_{air} \times t_{air}}{\rho_{minyak} \times t_{minyak}} \dots\dots(3)$$

Hasil Minyak Supercritical Water Liquefaction (SWL)

Proses Supercritical Water Liquefaction ini dilakukan selama 30-45 menit, dengan suhu bertahap. Selama 10 menit pada kondisi konstan. Sampel sebanyak 10 mL, pada minyak hasil pirolisis sebelum destilasi dihasilkan 9 mL. Sedangkan, pada minyak pirolisis setelah destilasi di hasilkan 2 mL. Hal ini dikarenakan terjadinya penguapan didalam tabung, dan terlalu lama proses SWL yang dilakukan. Selain itu, juga diindikasikan kebocoran pada tabung stainless steel sehingga minyak keluar dari tabung SWL. Waktu reaksi lama (240 menit) dengan suhu reaksi yang tinggi menghasilkan lebih sedikit minyak dan lebih banyak produk gas. Berdasarkan hasil yang diperoleh, minyak hasil SWL secara fisik terlihat lebih pekat dan warna yang di hasilkan lebih kuning (Čolnik et al., 2021). Perbedaan warna ini disebabkan proses SWL pada tekanan dan suhu tinggi. Pada kondisi suhu tinggi, semakin banyak klorofil yang keluar akan memberi warna pada minyak. Pada tekanan tinggi minyak akan mengalami polimerisasi sehingga warna minyak menjadi gelap (Omarta, Jayuska and Silalahi, 2021).

Tabel 2. Perbandingan Hasil Minyak Setelah di



Karakterisasi Minyak Hasil SWL

Karakterisasi minyak hasil SWL meliputi uji densitas dan viskositas. Diperoleh berat jenis minyak sebesar 730 kg/m^3 . Produk dari penelitian ini memenuhi kriteria berdasarkan SNI 06-3506-1994 mengenai bahan bakar minyak jenis bensin bahwa densitas bahan bakar minyak pada rentang $715 \text{ kg/m}^3 - 770 \text{ kg/m}^3$. Apabila densitas yang diperoleh terlalu tinggi maka akan berpengaruh pada keausan dalam mesin (Ratnasari et al., 2017). Hasil viskositas dari minyak diperoleh 0,68 cSt. Produk ini memenuhi kriteria berdasarkan standar ASTM

D445 yang mengatur pengujian viskositas bahan bakar, dimana *gasoline* biasanya memiliki viskositas kurang dari 1 cSt. Bahan bakar dengan viskositas yang tinggi lebih dari 1 cSt, akan menyulitkan aliran dan dapat memengaruhi kinerja mesin (Juwono et al., 2019).

Hasil Uji GCMS

Hasil uji GC MS pada minyak pirolisis tidak didestilasi didapatkan hasilnya berupa rantai karbon sepanjang $C_{16}-C_{18}$, sedangkan pada minyak hasil pirolisis setelah didestilasi panjang rantai karbonnya C_8-C_{12} . Berdasarkan data hasil kromatografi didapatkan bahwa jumlah puncak dan waktu retensi menunjukkan rantai karbon berkisar antara C_8-C_{12} , dari hasil tersebut maka dapat diidentifikasi bahwa sampel termasuk dalam senyawa kerosin atau minyak tanah.

Persentase jumlah dari setiap jenis minyak dalam kandungan sampel dapat dilihat pada Tabel 3-5. Pada *gasoline* memiliki panjang hidrokarbon C_5-C_{10} , kerosin dengan panjang hidrokarbon $C_{11}-C_{18}$, untuk panjang hidrokarbon di atas C_{19} merupakan jenis solar.

Tabel 3. Persentase Hasil Pada Minyak Pirolisis Sebelum Destilasi

Jenis Minyak	Hidrokarbon	Jumlah (%)
Gasoline	C_7-C_{10}	0
Kerosin	$C_{11}-C_{18}$	69,2
Solar	$>C_{19}$	30,88

Tabel 4. Persentase Hasil Pada Minyak SWL Sebelum Destilasi

Jenis Minyak	Hidrokarbon	Jumlah (%)
Gasoline	C_7-C_{10}	11,25
Kerosin	$C_{11}-C_{18}$	67,95
Solar	$>C_{19}$	20,81

Tabel 5. Persentase Hasil Pada Minyak SWL Setelah Destilasi

Jenis Minyak	Hidrokarbon	Jumlah (%)
Gasoline	C_7-C_{10}	26,8
Kerosin	$C_{11}-C_{18}$	66,95
Solar	$>C_{19}$	6,81

Berdasarkan data tersebut, disimpulkan untuk sampel minyak sebelum destilasi tidak ditemukan *gasoline*, kerosin 69%, dan 31% solar. Minyak dari sampel LLDPE mengandung

19,68% *gasoline*, 30,85% bahan bakar pesawat dan solar ringan, serta 49,97% solar dan pelumas. Setelah dilakukan proses SWL, terdapat proses pemecahan rantai hidrokarbon untuk kerosin dan solar. SWL dengan bantuan katalis dan panas mampu memecah rantai hidrokarbon molekul besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Selama proses perengkahan, terjadi pemecahan ikatan C-C (C-C bond scission), dehidrogenasi, isomerisasi, dan polimerisasi (Solikhah *et al.*, 2022). Jumlah persentase kerosin dan solar berkurang sedangkan hasil minyak *gasoline* bertambah hingga 11% (Zhao *et al.*, 2021). Terjadi proses perengkahan secara endotermis dimana reaksi melibatkan proses pemutusan rantai hidrokarbon sehingga dibutuhkan energi panas yang besar untuk memutuskan ikatan (Harefa *et al.*, 2011). Artinya, proses SWL dengan kondisi operasional diatas, mampu untuk memecah rantai hidrokarbon panjang menjadi lebih ringan. Semakin tinggi suhu maka semakin tinggi % yield minyak. Hal ini dikarenakan rantai karbon akan lebih mudah terengkah pada suhu tinggi (Bow *et al.*, 2018).

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil yang berpotensi menghasilkan bagi ilmuwan dan peniliti terkait bahan bakar terbarukan dengan metode yang cukup baru yaitu *Supercritical Water Liquefaction* yang berbasis bahan bakar alternatif referensi bagi para akademisi terkait metode *Supercritical Water Liquefaction* yang bisa mengubah persentase kandungan dalam bahan bakar alternatif dengan menggunakan katalis zeolit AI MCM-41. Dapat disimpulkan pada penelitian ini, pada proses pirolisis dari 100 gram plastik LDPE dan 3 gram katalis zeolite sintesis menghasilkan yield *crude oil* sebesar 113% dengan total residu mencapai 23%,8%. Peningkatan kadar *gasoline* meningkat sebesar 50% yang dihasilkan setelah proses *Supercritical Water Liquefaction* dari kandungan 0% saat sebelum proses *supercritical water liquefaction*.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan zeolit pada saat pirolisis dilanjut dengan metode *Supercritical Water Liquefaction* (SWL) mampu meningkatkan mutu minyak hasil dari pirolisis. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan hasil yang diperoleh pada analisa Kromatografi gas spektroskopi massa (GC-MS), didapatkan

bahwa jumlah puncak dan waktu retensi menunjukkan rantai karbon berkisar antara C₈-C₁₂. Setelah proses SWL, presentase jumlah dari kerosin dan solar berkurang menjadi *gasoline* sebanyak 11% dan 26%. Dengan variasi sebelum dan sesudah destilasi melewati proses SWL terjadi peningkatan 50%. Sehingga proses *Supercritical Water Liquefaction* terbukti dapat memecah rantai hidrokarbon panjang menjadi lebih ringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah memberikan bantuan dalam melakukan kajian melalui program kreativitas mahasiswa bidang riset eksakta pada tahun 2023. Bantuan dari ITS sangat membantu dalam menyelesaikan kajian ini. Selain itu, kami juga ingin berterima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bantuan dalam pengerjaan riset ini. Tanpa dukungan mereka, kajian ini tidak akan terwujud. Semoga kerjasama ini dapat terus berlanjut dan memberikan manfaat yang besar bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswan A. 2020. Konversi Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) Menggunakan Katalis Gamma Alumina (Γ -Al₂O₃) dan Zeolit Alam Dalam Multistage Separator Conversion of High Density Polyethylene (Hdpe) Plastic Waste to Liquid Fuel. *Jurnal Kinetika*. **11**(03): 1-7.
- Aswan A. 2021 Conversion of LDPE Plastic Waste to Liquid Fuel Using Aluminium Oxide and Zeolite Catalysts in The Multistage Separator. *Jurnal Kinetika*. **12**(02): 51-57.
- Bow Y. 2018. Pengolahan Sampah Low Density Polyethylene (LDPE) dan Polypropylene (Pp) Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif Menggunakan Prototipe Pirolisis Thermal Cracking Processing of Low Density Polyethylene (LDPE) and Polypropylene (Pp) Waste Into Alternative Liquid Fuel Using The Prototype Pyrolysis Thermal Cracking. *Jurnal Kinetika*. **9**(03): 1-6.
- Čolnik, M. 2021. Hydrothermal Decomposition of Polyethylene Waste to Hydrocarbons Rich Oil. *Journal of Supercritical Fluids*.

- 169(June): 105136.
- Fahim I, Mohsen O & Elkayaly D. 2021. Production of Fuel From Plastic Waste: A Feasible Business. *Polymers*. **13**(6): 1-9.
- Hendra HH, Zahrina I & Yenie E. 2011. Perengkahan Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Alkana Cair Menggunakan Katalis Ni/Zeolit Dengan Variasi Temperatur Reaksi dan Nisbah Berat Katalis/Pfad. *Repository Universitas Sriwijaya*. 1-11.
- Ingaweni L. 2015. Karakterisasi Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Dari Komposit High Density Polyethylene (HDPE) Dan Pati Kulit Singkong. *Jurusan Kimia Fmipa Universitas Negeri Surabaya*. 3-4.
- Jin K. 2021. Low-Pressure Hydrothermal Processing of Mixed Polyolefin Wastes Into Clean Fuels. *Fuel*. **294**(March): 120505.
- Juwono H, Sujadmiko MAT, Fauziah L & Ayyun LQ. 2019. Catalytic Conversion From Plastic Waste by Silica-Alumina-Ceramic Catalyst to Produce An Alternative Fuel Hydrocarbon Fraction. *Jurnal ILMU DASAR*. **20**(2): 83-88.
- Kholidah N. 2018. Pengaruh Temperatur Terhadap Persentase Yield Pada Proses Perengkahan Katalitik Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair. *Alkimia: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*. **2**(1): 28-33.
- Novarini. 2021. Kajian Karakteristik dan Energi Pada Pirolisis Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. **5**(1): 61-70.
- Omarta O, Jayuska A & Silalahi IH. 2021. Karakterisasi Komponen Destilat Minyak Sereh Wangi (*Cymbopogon Nardus* L. Rendle) dari Kecamatan Kuala Behe Kabupaten Landak. *Indonesian Journal of Pure And Applied Chemistry*. **3**(3): 33.
- Rahmadanty N. 2022. Pirolisis Sampah Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE) Menggunakan Katalis Pasir Merapi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Minyak (BBM). Universitas Islam Indonesia.
- Ratnasari DK, Nahil MA & Williams PT. 2017. Catalytic Pyrolysis of Waste Plastics Using Staged Catalysis For Production of Gasoline Range Hydrocarbon Oils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. **124**: 631-637.
- Solikhah MD. 2022. Perancangan Reaktor Untuk Produksi Biodiesel Generasi 2 Dari Biomasa Sawit. *Jurnal Teknologi*. **14**(2): 197-212.
- Wiriyumpaiwong S & Jamradloedluk J. 2017. Distillation of Pyrolytic Oil Obtained From Fast Pyrolysis of Plastic Wastes. *Energy Procedia*. **138**: 111-115.
- Zhao P. 2021. Supercritical Water Co-Liquefaction of Lldpe and Pp Into Oil: Properties and Synergy. *Sustainable Energy and Fuels*. **5**(2): 575-583.
- Zheng H. 2020. Basic Characteristics and Application Progress of Supercritical Water. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*. **555**(1).