

SAMPAH PLASTIK DIRUBAH MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK (CAIR) MENGGUNAKAN PROSES PIROLISIS

Sulistiono¹, Ah. Sulhan Fauzi², Nuryosuwito³

¹ Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan dan Ilmu Keguruan, Universitas Nusantara PGRI Kediri

^{2,3} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹sulistiono.unp@gmail.com, ²sulhanfauzi@unpkediri.ac.id, ³suwitounp@gmail.com

Abstrak - Produksi plastik global meningkat selama bertahun-tahun karena banyaknya aplikasi plastik di banyak sektor. Permintaan terus menerus dari plastik menyebabkan akumulasi limbah plastik di TPA menghabiskan banyak ruang yang berkontribusi terhadap masalah lingkungan. Meningkatnya permintaan plastik menyebabkan pelepasan minyak bumi sebagai bagian dari bahan bakar fosil yang tidak terbarukan karena plastik adalah bahan berbasis minyak bumi. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan studi terhadap karakteristik pirolisis, material sampah plastik dengan katalis alam Klaten, Jawa Tengah, Indonesia. Dari hasil proses pirolisis diketahui bahwa volume cairan tertinggi dicapai dengan waktu pemanasan pada reaktor selama 180 menit, sedangkan berat jenis tertinggi dicapai dengan waktu pemanasan selama 60 menit, kemudian viskositas minyak terendah didapat dengan waktu pemanasan selama 360 menit menunjukkan bahwa waktu pemanasan pada reaktor dengan penambahan katalis mampu mempengaruhi tingkat kualitas minyak hasil dari proses pirolisis dalam aspek volume cairan, berat jenis serta viskositas dengan demikian bahwa jenis bahan baku sangat mempengaruhi hasil produk dan kualitas produk cair dan gas. Sampah plastik dapat menghasilkan fraksi cairan tertinggi. Paduan katalis mengurangi fraksi cairan dan meningkatkan fraksi gas. Sampah plastik di kotamadya dapat diolah dengan proses pirolisis menjadi bahan bakar alternatif dengan nilai lebih tinggi dari pada produk biomassa.

Kata Kunci - Pirolisis, sampah plastik, katalis alam dari Klaten

1. PENDAHULUAN

1.1 Sampah Plastik

Plastik memainkan peran penting dalam meningkatkan kehidupan standar manusia selama lebih dari 50 tahun. Ini merupakan kunci inovasi banyak produk di berbagai sektor seperti konstruksi, perawatan kesehatan, elektronik, otomotif, kemasan dan lainlain. Permintaan plastik komersial meningkat karena pesatnya pertumbuhan populasi dunia. Produksi global plastik telah mencapai sekitar 299 juta ton pada tahun 2013 dan telah meningkat sebesar 4% [1] Meningkatnya permintaan plastik terus berlanjut menyebabkan pertumbuhan akumulasi limbah setiap tahunnya, pesatnya pembangunan kota Yogyakarta diikuti dengan peningkatan jumlah penduduk yang berdampak pula pada volume sampah yang diproduksi. Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta mencatat volume sampah daerah ini yang terangkut ke TPA Piyungan rata-rata mencapai 60 ton per hari. Sebanyak 60 persen dari volume sampah di Daerah Istimewa Yogyakarta, berupa sampah plastik. Sampah-sampah itu merupakan limbah rumah tangga dan industri [2].

Untuk meminimalisir dampak lingkungan dari sampah plastik, material ini harus didaur-ulang untuk mendapatkan kembali produk plastiknya ataupun untuk menghasilkan produk lain yang bernilai ekonomi. Ada beberapa metode untuk mendaur-ulang sampah plastik ini yaitu mechanical

recycling, feedstock recycling dan energy recovery [3]. Mechanical recycling adalah proses untuk mendapatkan kembali produk plastik dari sampah plastik dengan cara-cara mekanis Pada sistem ini, sampah plastik dilelehkan untuk kemudian dibuat pelet plastik yang kemudian digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan produk-produk berbahan baku plastik pada umumnya plastik hasil daur-ulang ini digunakan untuk membuat produk-produk dengan kualitas yang lebih rendah. Metode ini hanya dapat digunakan untuk jenis plastik tunggal, sehingga perlu adanya pemisahan berdasarkan jenis plastik sebelum dilelehkan. Sampah plastik yang terlalu banyak kontaminasi juga sulit didaur-ulang dengan metode ini karena akan berpengaruh terhadap kualitas produk plastik yang dihasilkannya. Feedstock atau chemical recycling merupakan teknologi yang lebih maju dimana sampah plastik dikonversi menjadi molekul dengan ukuran yang lebih kecil berbentuk cairan maupun gas untuk memproduksi bahan bakar maupun zat-zat kimia. Energy recovery adalah suatu metode untuk mendapatkan kembali energi yang terkandung di dalam sampah plastik dengan cara dibakar untuk menghasilkan energi dalam bentuk kalor, uap maupun listrik. Oleh karena itu, mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar dengan metode feedstock recycling merupakan pilihan yang menjanjikan untuk daur-ulang plastik

yang tidak dapat didaur-ulang secara mekanis karena pertimbangan keekonomian.

1.2 Pirolisis dan Katalis

Proses daur ulang kimia melalui proses pirolisis merupakan salah satu metode yang menjanjikan untuk daur ulang limbah plastik yang melibatkan dekomposisi termokimia bahan organik dan sintetis pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen untuk menghasilkan bahan bakar. Prosesnya biasanya dilakukan pada suhu antara 500-800°C [4]. Produk pirolitik ini dapat dibagi menjadi fraksi cair, fraksi gas dan residu padat [5]. Pirolisis atau degradasi termal dari plastik telah diteliti oleh banyak peneliti. Ada empat jenis mekanisme pirolisis plastik [6] yaitu skringing rantai akhir atau depolimerisasi, skrup rantai acak, pengupasan rantai dan pentautan silang. Energi aktivasi dan model reaksi pirolisa *polietilena* (PE) dan *polipropilena* (PP) telah diperkirakan untuk hasil kinetik non-isotermal. Konduktivitas termal yang rendah dan viskositas plastik yang tinggi merupakan tantangan utama dalam merancang reaktor. Beberapa sistem reaktor telah dikembangkan dan digunakan seperti *batch/ semi batch, fixed bed, fluidized bed, spouted bed, microwave* [7] dan *screw kiln*. *Batch* atau reaktor *semi batch* telah digunakan oleh banyak peneliti karena desainnya yang sederhana dan pengoperasian yang mudah. Namun, degradasi termal plastik memiliki kelemahan utama seperti rentang produk yang sangat luas dan kebutuhan suhu tinggi, karena itu degradasi katalitik menyediakan sarana untuk mengatasi masalah ini. Penggunaan katalis diharapkan dapat mengurangi suhu reaksi, untuk meningkatkan reaksi dekomposisi dan untuk meningkatkan kualitas produk. Keretakan katalitik langsung telah digunakan secara luas karena beberapa keuntungan, terutama dalam hal efisiensi energi, berkaitan dengan penggunaan reaktor, suhu reaksi dan waktu tinggal. Namun, retakan katalitik langsung dari limbah plastik memiliki sejumlah kekurangan yang telah mencegah keberhasilan komersialnya. Yang pertama berhubungan dengan kesulitan untuk memulihkan katalis setelah digunakan yang menambah biaya operasional. Selanjutnya, kontak langsung dengan limbah plastik akan membuat katalisator dinonaktifkan dengan cepat karena pengendapan zat berkarbon dan efek keracunan unsur asing dan kotoran seperti spesies klorin, sulfur dan nitrogen yang mungkin ada dalam limbah plastik [3]. Oleh karena itu, pemisahan reaksi pembaharuan katalitik dari tahap pirolisa dapat diterapkan untuk mengatasi hal tersebut masalah. Metode ini telah dipelajari beberapa peneliti [8, 9] untuk *polietilena* PE dan *polystyrene* (PS) dengan menggunakan katalis zeolit-Y dan ZSM-5. Hasilnya menunjukkan adanya kenaikan gas dan penurunan

rendemen minyak. Penggunaan katalis lain seperti silika alumina dan Al-MCM-41 juga telah diteliti oleh orang lain [10, 11]. Namun, penggunaan katalis menjadi beban biaya utama untuk mendaur ulang limbah plastik dengan pirolisa. Mengurangi biaya katalis untuk aplikasi skala kecil di negara berkembang seperti Indonesia merupakan tantangan yang sangat menarik.

Katalis mempercepat reaksi kimia namun tetap tidak berubah menjelang akhir proses. Katalis banyak digunakan di bidang industri dan penelitian untuk mengoptimalkan distribusi produk dan meningkatkan selektivitas produk. Oleh karena itu, degradasi katalitik sangat menarik untuk mendapatkan produk dengan kepentingan komersial yang besar seperti bahan bakar otomotif (diesel dan bensin) dan olefin C2-C4, yang memiliki permintaan besar dalam industri petrokimia [12]. Bila katalis digunakan, energi aktivasi proses diturunkan, sehingga mempercepat laju reaksi. Oleh karena itu, katalis mengurangi suhu optis yang dibutuhkan dan ini sangat penting karena proses pirolisis membutuhkan energi tinggi (sangat endotermik) yang menghambat penerapan komersialnya. Penggunaan katalis dapat membantu menghemat energi karena panas merupakan salah satu biaya termahal di dunia industri. Selain itu, katalis juga digunakan oleh banyak peneliti untuk meningkatkan produk untuk memperbaiki distribusi hidrokarbon guna memperoleh cairan pirolisa yang memiliki sifat serupa dengan bahan bakar konvensional seperti bensin dan solar.

Tabel 1. Komposisi kimia zeolit

No	Unsur Kimia	% kandungan
1	SiO ₂	64,55
2	Al ₂ O ₃	12,83
3	Na ₂ O	0,33
4	CaO	1,64
5	Fe ₂ O ₃	1,38
6	MgO	0,71
7	TiO ₂	0,22
8	K ₂ O	2,81

Katalis yang digunakan untuk pekerjaan ini adalah zeolit alam yang diperoleh dari Klaten. Zeolit tersebut digerus lalu diayak dengan menggunakan pengayak 250 mest. Zeolit hasil ayakan dicuci menggunakan hasil suling kemudian dikeringkan pada temperatur 120°C. Kandungan utama sari zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini adalah silicon, aluminium, dan oksigen. Adapun kandungan kimia lain yang terkandung pada zeolit yang digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat pada tabel di atas.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah sampah plastik jenis PET (*polyethylene terephthalate*), yang berasal dari plastik kemasan makanan dan minuman yang diperoleh dari tempat pembuangan akhir dan perusahaan daur ulang plastik di kota Yogyakarta. Pemilihan bahan ini disebabkan sifat intrinsik bahan PET yang sesuai untuk kontainer berkapasitas besar, ringan dan tahan tekanan.



Gambar 1. Contoh sampah plastik jenis PET (*polyethylene terephthalate*) yang digunakan dalam pirolisis

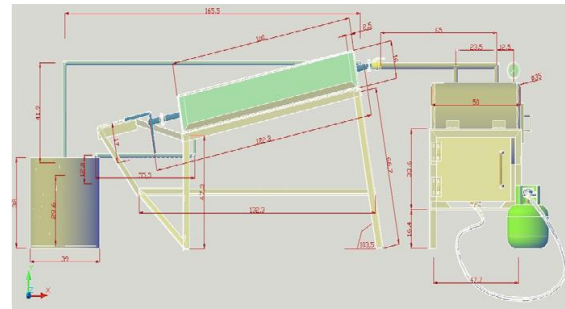
Beberapa sifat PET ini diantaranya:

1. Density : 1,37 kg/m³
2. Water absorption rate : 0,15 %
3. Elongation : 70 %
4. Kekuatan tarik : 6.600 psi
5. Kekuatan tekan : 14.000 psi
6. Kekuatan lentur : 16.000 psi
7. Kekuatan impak : 2,5 – 3 kJ/m²
8. Kekerasan : R 120
9. Temperatur operasi : -4 s/d 212 °F
10. Titik lebur : 480 °F

(downcorning.com)

2.2 Instalasi Pirolisis

Penelitian ini bertujuan untuk memahami potensi konversi limbah sampah plastik dijadikan bahan bakar dengan proses pirolisis yang menggunakan bahan baku limbah plastik. Pirolisis dan katalisis dilakukan pada reaktor skala dua tahap utama dengan menggunakan sistem *batch*. Ini terdiri dari reaktor pirolisa dan reaktor pembentuk katalitik. Instalasi eksperimental pirolisis ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peralatan Pirolisis

Reaktor pirolisa dan pembaharu terbuat dari baja tahan karat dan ditutup dengan pemanaslistrik. Diameter dalam piroklester dan tinggi masing-masing adalah 200 mm dan 400mm. Diameter dan tinggi tengah reformer masing-masing adalah 100 mm dan 400 mm. Kondensor tipe shell dan tube dipasang di outlet pembaharu untuk memisahkan produk gas dan cairan. Dalam percobaan ini, 2,5 kg sampai 4 kg bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor pirolisa. *Pyrolizer* dan *reformer* kemudian dipanaskan pada waktu dan suhu yang ditentukan sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

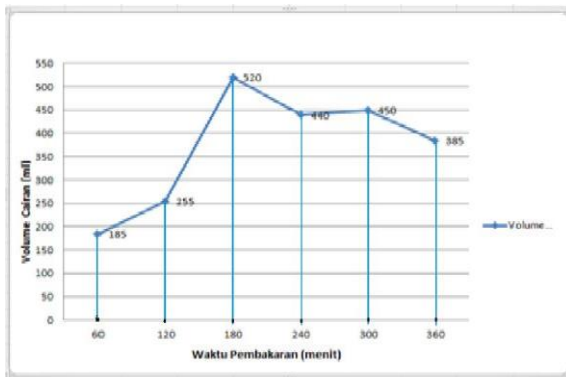
Data perhitungan volume cairan hasil proses pirolisis ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Volume cairan hasil pirolisis berdasar waktu pemanasan

No	Waktu pemanasan (menit)	Volume cairan (ml)
1	60	185
2	120	255
3	180	520
4	240	440
5	300	450
6	360	385

Berdasarkan tabel 2, terlihat bahwa volume cairan terbesar dihasilkan dengan waktu pemanasan 180 menit yang menghasilkan volume cairan 520 ml. Sedangkan jumlah cairan terkecil dihasilkan pada waktu pemanasan 60 menit yang menghasilkan 185 ml cairan.

Pengaruh waktu pemanasan terhadap volume cairan hasil pirolisis, diperlihatkan pada grafik di bawah.



Gambar 3. Volume cairan hasil pirolisis berdasar waktu pemanasan

Dari grafik diatas dijelaskan bahwa dalam rentang waktu 60 menit minyak yang dihasilkan semakin bertambah, 60 menit pertama menghasilkan 185 ml. Pada menit ke 120 cairan yang dihasilkan mengalami peningkatan dan menghasilkan cairan sebesar 255 ml. Kemudian pada menit ke 180 peningkatan minyak terbanyak sampai 520 ml. Sedangkan pada menit ke 240 volume cairan mengalami penurunan hingga ke angka 440 ml. Hingga pada menit ke 300 naik sedikit menjadi 450 ml, pada waktu akhir menit ke 360 didapat volume cairan sebanyak 385 ml.

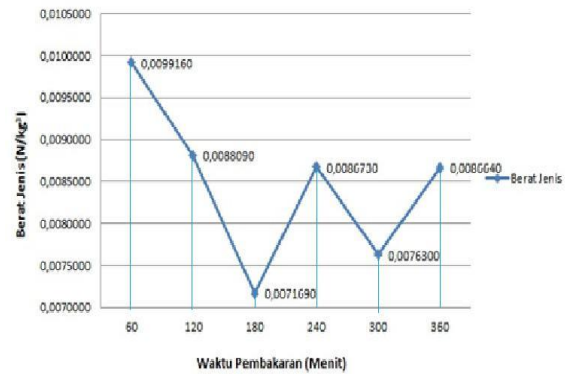
Data perhitungan berat jenis cairan hasil proses pirolisis ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Berat jenis cairan hasil pirolisis berdasar waktu pemanasan

No	Waktu pemanasan (menit)	Berat jenis cairan (N/kg ³)
1	60	0.0099160
2	120	0.0088090
3	180	0.0071690
4	240	0.0086730
5	300	0.0076300
6	360	0.0086640

Berdasarkan tabel 3, terlihat bahwa angka berat jenis terbesar dengan pemanasan pada reaktor selama 60 menit dengan berat jenis minyak pirolisis sebesar 0,009916N/kg³. Sedangkan angka berat jenis terkecil dihasilkan dengan waktu pemanasan selama 180 menit yang hanya menghasilkan berat jenis sebesar 0,007169 N/kg.

Pengaruh waktu pemanasan terhadap berat jenis cairan hasil pirolisis, diperlihatkan pada grafik di bawah.



Gambar 4. Berat jenis cairan hasil pirolisis berdasar waktu pemanasan

Berdasarkan Gambar. 4 berat jenis minyak hasil pirolisis pada gambar 4 terlihat bahwa pada menit ke 60 menghasilkan berat jenis terbesar yaitu 0,0099160 N/kg³, sedangkan pada menit ke 120 terjadi penurunan berat jenis minyak pirolisis yaitu sebesar 0,008809 N/kg³. Kemudian pada menit ke 180 angka berat jenis yang dihasilkan dari minyak pirolisis mengalami penurunan lebih lanjut hingga mencapai angka 0,0071690 N/kg³, namun pada menit ke 240 terjadi kenaikan berat jenis sebesar 0,0086730 N/kg³. Masuk dalam menit ke 300 juga terjadi kenaikan angka berat jenis minyak pirolisis sebesar 0,0076300N/kg³, hingga mencapai menit ke 360 nilai berat jenis terakhir yang mampu dicapai adalah 0,0086640 N/kg³.

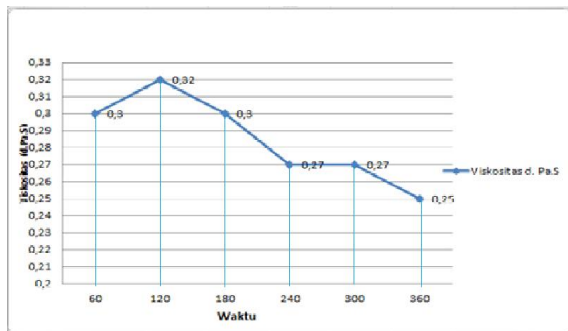
Data perhitungan viskositas cairan hasil proses pirolisis ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Viskositas cairan hasil pirolisis berdasar waktu pemanasan

No	Waktu pemanasan (menit)	Viskositas cairan (d.Pa.S)
1	60	0.30
2	120	0.32
3	180	0.30
4	240	0.27
5	300	0.27
6	360	0.25

Berdasarkan pada tabel 4, terlihat bahwa angka viskositas terbesar dengan pemanasan selama 120 menit dengan viskositas minyak pirolisis sebesar 0,32 d.Pa.S. Sedangkan angka viskositas terkecil dihasilkan dengan waktu pemanasan pada reaktor selama 360 menit yang hanya menghasilkan viskositas sebesar 0,25 d.Pa.S.

Pengaruh waktu pemanasan terhadap viskositas cairan hasil pirolisis, diperlihatkan pada grafik di bawah.



Gambar 5. Viskositas cairan hasil pirolisis berdasar waktu pemanasan

Berdasarkan gambar 5, terlihat pengaruh variasi waktu pemanasan terhadap viskositas minyak pirolisis. Dimana pada pemanasan pada reaktor selama 60 menit menghasilkan viskositas sebesar 0,3 d.Pa.S, lalu pada pemanasan pada reaktor waktu 120 menit menghasilkan minyak dengan nilai viskositas yang meningkat yaitu sebesar 0,32 d.Pa.S. Sedangkan pada waktu pemanasan pada reaktor selama 180 menit nilai viskositas minyak mengalami penurunan dan berkisar pada angka 0,3 d.Pa.S, penurunan terus berlanjut hingga mencapai angka viskositas 0,27 d.Pa.S pada waktu pemanasan 240 menit. Lalu pada waktu pemanasan dengan waktu 300 menit mampu menghasilkan kenaikan angka viskositas minyak sebesar 0,27 d.Pa.S dan mengalami penurunan kembali pada waktu pemanasan selama 360 menit yang menghasilkan nilai viskositas sebesar 0,25 d.Pa.S.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian yang dilaksanakan menunjukkan nilai volume cairan terbesar didapatkan dengan waktu pemanasan selama 180 menit yang menghasilkan volume minyak sebesar 520 ml. Tabel 1 menunjukkan volume yang dihasilkan dari proses pirolisis bersifat dinamis, dimana volume yang dihasilkan pada menit 240 hingga menit 360 lebih rendah dari waktu pemanasan 180 menit. Anomali ini terjadi karena jumlah sampah pada reaktor pirolisis mengalami penurunan selama masa pemanasan, sehingga semakin lama waktu proses pemanasan juga akan berimbas pada berkurangnya jumlah volume bahan bakar yang di hasilkan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian lain yang dilaksanakan oleh Peters (1985) dengan jurnal yang berjudul "Efek Dari Laju Pemanasan, Temperatur dan Waktu Terhadap Proses Pirolisis", dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pemanasan mampu mempengaruhi volume hasil proses pirolisis yang mampu menghasilkan volume minyak sebesar 610 ml dalam waktu pemanasan sekitar 180-200 menit.

Berdasarkan penelitian ini pula telah diketahui bahwa berat jenis minyak hasil proses pirolisis tertinggi 0,0099160N/kg³ yang dihasilkan dengan waktu pemanasan selama 60 menit dan terbaik

dengan nilai terendah 0,0071690N/kg³ pada menit 180, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. Berat jenis dapat diperoleh dengan cara berat suatu benda dibagi volume cairan, berat jenis yang baik dinyatakan dengan sedikitnya campuran karbon dalam minyak hasil pirolisis menunjukkan kemurnian dari minyak, sehingga semakin rendah nilai berat jenisnya berarti semakin baik. Hasil ini diperkuat oleh hasil penelitian lain yang dilaksanakan oleh Fallah (2013) dengan jurnal yang berjudul "Pemanfaatan Hasil Pirolisis Limbah Ban Bekas Sebagai Bahan Pelunak Untuk Pembuatan Barang Jadi Karet" dimana dalam jurnal inipun menunjukkan bahwa waktu pemanasan awal proses pirolisis mampu menghasilkan berat jenis minyak yang terbesar.

Dalam penelitian ini juga telah diketahui bahwa waktu pemanasan pada reaktor terlama (360 menit) mampu menghasilkan nilai viskositas minyak hasil pirolisis terendah sebesar 0,25d.Pa.S., angka viskositas terkecil ini mampu didapatkan pula bila menggunakan variasi suhu pemanasan pada reaktor sebesar 300°C. Jika mengacu pada hasil viskositas terendah yang dihasilkan pada variasi waktu terbesar yaitu 360 menit dimana hal ini disebabkan tingginya suhu pemanasan pada waktu proses pemanasan pada reaktor terbesar (semkin lama waktu pemanasan maka semakin tinggi pula suhu pemanasan). Sehingga semakin lama waktu pemanasan mampu menghasilkan nilai viskositas terendah dikarenakan semakin tinggi suhu pemanasan semakin rendah pula nilai viskositas, dimana nilai viskositas terendah akan memiliki nilai *volatile matters* yang tinggi sehingga semakin rendah viskositas hasil pirolisis maka akan semakin baik. Hasil penelitian ini pun diperkuat pula oleh buku yang ditulis oleh Olson (1993) dengan judul "Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik" bahwa peningkatan suhu yang signifikan mampu mengurangi kohesi molekular sehingga nilai viskositas mampu menurun atau mencapai angka terendah.

4. SIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk mencapai proses pirolisis plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) dan katalis zeolit dengan nilai volume minyak terbesar mampu dicapai dengan waktu pemanasan pada reaktor selama 180 menit, sedangkan untuk mencapai berat jenis terbesar mampu dicapai dengan waktu pemanasan 60 menit, lalu untuk mencapai nilai viskositas terkecil sebesar 0,25 d.Pa.S. dengan waktu pemanasan selama 360 menit.
2. Hasil produk pirolisis terbanyak pada waktu pemanasan pada reaktor menit ke 180 dengan jumlah cairan 520 ml dan hasil paling sedikit pada waktu pemanasan menit ke 60 dengan jumlah

cairan 185 ml. Sedangkan hasil berat jenis minyak pirolisis mampu mencapai angka tertinggi 0,00889230N/kg³ dengan waktu pemanasan pada reaktor selama 60 menit dan berat jenis terendah 0,0076082N/kg³ pada waktu pemanasan selama 180 menit. Nilai viskositas terendah terdapat pada waktu pemanasan selama 360 menit dengan nilai viskositas sebesar 0,25d.Pa.S dan nilai viskositas tertinggi pada menit ke 120 dengan nilai viskositas sebesar 0,32 d.Pa.S.

Biomass via Fast Pyrolysis, Hydrotreating and Hydrocracking. *A Design Case*. Report No. PNNL-18284; U.S. Department of Energy: Springfield, VA, USA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Association of Plastic Manufacturers Europe. 2015. *An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Belgium: European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations, p 1-32
- [2] Heri Sidik, Victorious Sat Pranyoto. <https://jogja.antaranews.com/berita/345353/dinas-volume-sampah-bantul-60-ton-sehari> diakses pada tanggal 10 Januari 2018.
- [3] Liu, Y., Lotero, E., and Goodwin, J. G. 2005. Effect of Water on Sulfuric Acid Catalyzed Esterification, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 245, 132-140.
- [4] Akkaya, Ebru, et al. 2009. Energy Content Estimation of Municipal Solid Waste by Multiple Regression Analysis. *5th International Advanced Technologies Symposium*. Karabuk. Turkey.
- [5] Bajus, M. dan Hájeková, E. 2010. Thermal Cracking of The Model Seven Components Mixed Plastics into Oils/Waxes. *Petroleum & Coal* 52 (3) 164-172, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic.
- [6] Borsodi, N., Miskolczi, N., Angyal, A., Bartha, L., Kohán, J., dan Lengyel, A. 2011. Hydrocarbons obtained by pyrolysis of contaminated waste Plastics. *45 th International Petroleum Conference*, Bratislava, Slovak Republic.
- [7] Das, S. dan Pande, S. 2007. Pyrolysis and Catalytic Cracking of Municipal Plastic Waste for Recovery of Gasoline Range Hydrocarbons. *Thesis*. Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela.
- [8] J. Yang, R. Miranda, and C. Roy. 2001. Using the DTG curve fitting method to determine the apparent kinetic parameters of thermal decomposition of polymers. *Polymer Degradation and Stability*, vol 73, pp. 455-461.
- [9] Jones D.L., Rousk J., Edwards-Jones G., DeLuca T.H., Murphy D.V. 2012. Biochar-Mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biol. Biochem.* 45 113–124.
- [10] Jones, S.B., Holladay J.E., Valkenburg C., Stevens D.J., Walton C.W., Kinchin C., Elliott D.C., Czernik S. 2009. Production of Gasoline and Diesel from Biomass via Fast Pyrolysis, Hydrotreating and Hydrocracking. *A Design Case*. Report No. PNNL-18284; U.S. Department of Energy: Springfield, VA, USA.
- [11] Suelves I., Moliner R. and La'zaro M.J. 2000. Synergetic effects in the co-pyrolysis of coal and petroleum residues: influences of coal mineral matter and petroleum residue mass ratio. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 55, 29-41.
- [12] Yang H., Yan R., Chen H., Lee D.H., Zheng C. 2007. Characteristics of hemicellulosa, cellulosa and lignin pyrolysis. *Fuel*. Vol. 86.
- [13] Nuryosuwito¹, Sudjito S.², Widya Wijayanti³, Nurcholis Hamidi⁴. 2017. *Pengolahan sampah plastik jenis PET menjadi Bahan bakar minyak Menggunakan Proses Pirolisis dengan menggunakan katalis Klaten, Jawa Tengah, Indonesia*. ¹Universitas Nusantara PGRI Kediri. ^{2, 3, 4}Universitas Brawijaya Malang. Jawa Timur, Indonesia.