

RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* KONVERSI SAMPAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* MENJADI BAHAN BAKAR CAIR *PROTOTYPE DESIGN OF CONVERSION POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE INTO LIQUID FUEL*

Tahdid¹, Yohandri Bow¹, Arizal Aswan¹, Fatria¹, Nur Azizah Yasmin¹, Leni Desi Susanti¹, Medio Destian¹,
Agung Aditya¹

Teknik Energi / Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jalan Sriwijaya Negara, Bukit Besar Palembang, telp 0711-353414 / fax. 07111-355918
e-mail : tahdid_caisar@yahoo.com, lenidesisusanti2@gmail.com

ABSTRACT

In Indonesia, there is very little waste treatment. Especially plastic waste that is difficult to decompose and difficult to process. Lack of handling of plastic waste and the number of people who use plastic cause the waste is endless. In this study, a prototype design was made to convert plastic waste into liquid fuel. Plastic waste is processed by the pyrolysis process. Plastic waste used is a type of Polypropylene (PP). In the pyrolysis process, plastic waste will be heated in the reactor so that it will produce gas and liquid in the form of oil and wax residues. The product is produced in the pyrolysis process with the raw material of Polypropylen, which is a liquid fuel whose quality is close to gasoline.

Keywords: *Plastic Polypropylen, Pyrolysis, Reactor, Separator, Cooler, and Condenser*

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan permasalahan yang sangat besar saat ini. Saat ini untuk Indonesia merupakan negara dengan peringkat kedua penghasil sampah plastik setelah cina dengan jumlah sekitar 187 juta ton. Plastik bekas adalah penyumbang urutan ke tiga terbesar kepada perusahaan dan industri pengolahan plastik bekas setelah makanan dan kertas. PE, PS, dan PP terhitung lebih dari 70% dari plastik bekas menduduki tempat pembuangan akhir (Budianto, 2017).

Kurangnya penanganan dan perhatian penduduk terhadap sampah dilingkungan menjadikan pencemaran lingkungan semakin parah setiap harinya. Oleh karena itu, harus ada inovasi yang bisa menyadarkan masyarakat akan kebersihan dan kesehatan di lingkungan tempat kita tinggal. Salah satu cara yang bisa kita gunakan untuk mengelolah sampah khususnya sampah plastik yaitu dengan melakukan pengolahan sampah dengan konversi menjadi bahan bakar cair secara pirolisis.

Pada penelitian sebelumnya, telah dibuktikan memanaskan plastik *polyethylene* menggunakan metode pirolisis. Metode pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa oksigen dengan suhu tinggi (800–1000°C) ini ramah lingkungan karena menghasilkan gas CO₂ dan H₂O. Selain gas, ketika dipanaskan, akan membentuk suatu senyawa hidrokarbon cair mulai dari C₁ hingga C₄, dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin yang memiliki bentuk mirip *wax* (lilin) (Ermawati, 2011).

Pengolahan sampah plastik ini diharapkan agar masyarakat sekitar bisa mengurangi sampah yang menumpuk dan menumbuhkan kesadaran masyarakat sekitar untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Selain itu dapat menghasilkan bahan bakar alternatif, seperti bahan bakar cair.

Plastik

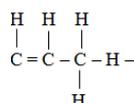
Plastik adalah polimer rantai panjang atom mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau monomer. Sedangkan **polimer** adalah material yang molekulnya berupa pengulangan atau penggabungan ikatan-ikatan kovalen yang partikelnya lebih kecil. Karena Plastik adalah polimer rantai panjang atom yang mengikat satu sama lain. Maka rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau monomer. Satu makro molekul atau polimer terdiri dari kombinasi molekul-molekul **monomer** (Ahvenainen, 2003).

Dalam kimia, suatu monomer (dari bahasa Yunani mono "satu" dan meros "bagian") adalah struktur molekul yang dapat berikatan secara kimia dengan monomer lainnya untuk menyusun molekul polimer yang panjang dan berulang-ulang. Monomer dapat berupa hidrokarbon, gula, asam amino, atau asam lemak. Monomer juga tersusun dari atom yang biasanya diambil dari bahan alami atau organik dan sering diklasifikasikan sebagai petrokimia. Segala macam monomer dapat dimanfaatkan dalam pembuatan plastik.

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *termosetting*. Thermoplastic adalah bahan plastik yang jika

dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan thermosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya.

Pada penelitian ini, jenis plastik yang digunakan adalah PP (*Polypropylene*). *Polypropylene* merupakan plastik polimer yang mudah dibentuk ketika panas, lentur, keras dan resisten terhadap lemak. Rumus molekulnya yaitu $(C_3H_6)_n$.



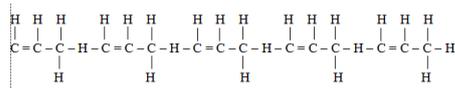
Polypropylene dapat dijumpai pada wadah makanan, kemasan, pot tanaman, tutup botol obat, tube margarin, tutup lainnya, sedotan, mainan, tali, pakaian dan berbagai macam botol. Sifat PP (polypropylene) yaitu keras tapi fleksibel, kuat, permukaan berkilau, tidak jernih tapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140°C .



(Thahir, 2013.)

Gambar 1. Produk plastik PP

Energi ikatan merupakan perubahan entalpi yang diperlukan untuk memutuskan ikatan tertentu dalam satu mol molekul gas. Semakin tinggi tingkat energi ikatan maka semakin sulit pula ikatan tersebut untuk dilepaskan karena dibutuhkan lebih banyak energi yang diperlukan untuk melepaskannya (Raymond, 2005)

**Tabel 1.** Energi Ikatan

Ikatan	Energi Ikatan Kj mol^{-1}	Ikatan	Energi Ikatan Kj mol^{-1}
H – H	436	C – O	350
H – C	415	$\text{C} \equiv \text{O}$	741
H – N	390	C – Cl	330
H – F	569	$\text{N} \equiv \text{N}$	946
H – Cl	432	O = O	498
H – Br	370	F – F	160
C – C	345	Cl – Cl	243
C = C	611	I – I	150
C – Br	275	Br – Br	190
$\text{C} \equiv \text{C}$	837	$\text{C} \equiv \text{N}$	891
O – H	464		

Dimana energi ikatan yang terbentuk pada polimer Polietilen Tereftalat (PET) adalah sebagai berikut :

$$\text{C} - \text{C} = 345 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{C} = \text{C} = 611 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{C} - \text{H} = 415 \text{ kJ/mol}$$

Maka kemungkinan ikatan yang paling banyak terputus atau terlepas yaitu C – C. Berikut ini adalah persentase komposisi campuran gas dan produk bahan bakar *Polypropylene* (PP) (Thahir, 2013).

Tabel 2. Persentase komposisi campuran gas dan produk bahan bakar *Polypropylene* (PP)

Komposisi	% berat (kg)
CH ₈	0,34
C ₃ H ₆	3,43
C ₂ H ₆	0,21
C ₂ H ₄	3,15
CH ₄	0,05
H ₂	0,04
O ₂	0,43
N ₂	0,59
C ₆ H ₁₂	34,65
C ₆ H ₁₄	2,55
C ₉ H ₁₈	20,65
C ₉ H ₂₀	2,03
C ₁₂ H ₂₄	21,3
C ₁₂ H ₂₆	1,98
C ₁₅ H ₃₀	7,62
C ₁₅ H ₃₂	0,62
C ₁₈ H ₃₆	0,21
C ₁₈ H ₃₈	0,15
Total	100

(Thahir, 2013)

Metode pengolahan sampah sangatlah bervariasi. Salah satunya adalah dengan metode pirolisis. Metode ini digunakan sebagai energi alternatif yang bertujuan untuk mendapatkan energi hidrokarbon. Teknologi yang digunakan pada pirolisis yaitu teknik pembakaran tanpa melibatkan O₂ pada proses pembakaran.

Untuk proses yang dilakukan pada konversi sampah plastik berupa proses pirolisis. Pirolisis sudah banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu zat yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Proses ini akan menghasilkan zat cair melalui reaksi kimia yang terjadi. Menurut Mahendra (2013), variasi tekanan, temperature dan komposisi bahan perlu dipertimbangkan untuk didapatkan hasil yang optimal (Saktian, 2015).

Pirolisis plastik merupakan proses thermal cracking dari polimer bermassa molekul tinggi tanpa adanya oksigen dan menghasilkan senyawa bermassa molekul rendah. Umumnya limbah plastik hanya dibuang atau dibakar (inceneration). Namun kedua hal tersebut tidak menyelesaikan masalah limbah plastik karena keterbatasan lahan dan sifat plastik yang tidak mudah terdegradasi. Sementara pembakaran pada suhu rendah akan menghasilkan zat beracun yang berbahaya bagi kesehatan (Salamah, 2016).

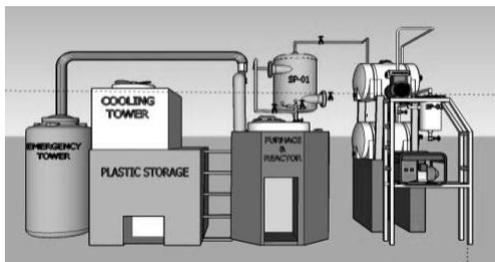
HDPE, LDPE, PP dan PS merupakan polimer turunan dari hidrokarbon dan memiliki nilai energi yang mirip dengan komponen penyusunnya. Berikut adalah perbandingan jumlah energi dalam plastik dengan bahan bakar.

Produk proses pirolisis dapat menjadi bermacam-macam komponen. Terdapat lebih dari seratus komponen hidrokarbon termasuk paraffin, olefin, naphthene dan senyawa aromatis yang dapat menjadi produk proses pirolisis plastik. Parafin merupakan hidrokarbon jenuh dengan rantai lurus atau bercabang. Olefin hampir sama dengan paraffin namun memiliki ikatan rantai rangkap 2 dalam strukturnya. Napthene merupakan hidrokarbon jenuh namun memiliki gugus cincin dalam strukturnya.

2. METODOLOGI

Penelitian diawali dengan melakukan perancangan pada alat pada prototype konversi sampah plastik polypropylene yaitu reactor, separator, cooler, dan kondensor. Rancangan mesin konversi ini dibuat dengan kapasitas bahan baku sampah plastik 12 kg. Rancangan setiap alat dilakukan dengan menghitung dimensi dan konfigurasi dari setiap alat dan juga kapasitas dari alat tersebut, juga dengan memperhatikan factor keamanan dari setiap alat.

Setelah dilakukan perhitungan konfigurasi pada setiap alat dilakukan proses pirolisis pada sampah plastik yang akan dikonversi menjadi bahan bakar cair dengan total massa bahan baku sampah plastik sebanyak 12 kg untuk mendapatkan hasil berupa bahan bakar cair.



Gambar 2. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Plastik

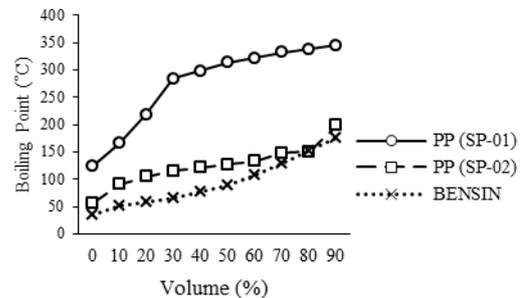
Keterangan:

- Emergency Tower
- Cooling Tower
- Plastic Storage
- Furnace and Reactor
- Separator SP-01
- Cooler
- Condensor
- Separator SP-02
- Compressor

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Produk Bahan Baku Polypropylene

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan bahan bakar PP serta bensin sebagai pembandingnya didapatkan produk berupa FRA bahan baku PP dan produk FRB bahan baku PP. Hasil analisa produk FRA dan FRB dapat dilihat pada grafik hubungan volume vs boiling point dengan pembandingan bensin pada Gambar 3.



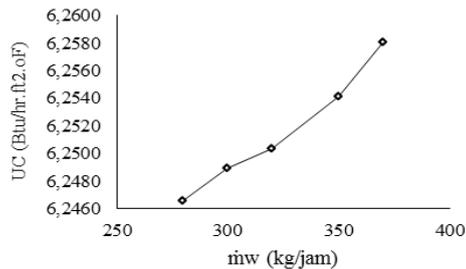
Gambar 3. Grafik Hubungan Volume vs Boiling Point Produk

Dari Gambar 3, masing-masing titik didih dari setiap produk bahan bakar cair baik dari bahan baku PP serta bensin sebagai pembandingnya. Pada produk FRB bahan baku PP didapat IBP pada suhu 124 °C dan terus mengalami kenaikan hingga mencapai suhu 330°C. dengan kenaikan suhu yang terus meningkat berarti pada produk FRB bahan baku PP tidak hanya ada satu produk tetapi terdapat beberapa produk lain. Pada suhu 124°C telah terjadi penguapan yang merupakan titik didih dari produk solar, kemudian terus mengalami lagi kenaikan suhu hingga mencapai 345°C yang merupakan titik didih dari minyak berat. Jadi pada produk FB bahan baku PP memiliki kandungan produk mulai dari solar hingga minyak berat.

Secara Teori Pada produk FRA bahan baku PP didapat IBP pada suhu 50°C dan terus mengalami penguapan dan kenaikan suhu hingga 199°C. Pada produk FRA bahan baku PP menunjukkan bahwa terdapat produk bensin karena pada produk FRA bahan baku PP terjadi penguapan pada suhu 56°C. Hal ini dapat dilihat karena perbedaan yang tidak terlalu jauh antara titik didih produk FRA bahan baku PP dengan titik didih bensin 36-72°C. Produk FRA bahan baku PP memiliki sifat fisik berupa densitas, °API Gravity, viskositas, titik nyala, dan nilai kalor yang juga mendekati sifat fisik bensin (Thahir, 2013). Selain produk bensin juga terdapat produk berupa kerosin yang menguap pada suhu 105°C pada volume 20%, produk solar pada suhu 116°C pada volume 30% hingga minyak berat pada suhu 149°C.

Perbandingan U_c dengan Laju Alir Massa Air Pendingin

Berdasarkan praktikum yang telah dilakukan didapatkan perbandingan U_c dengan laju alir massa air pendingin dapat dilihat pada Gambar 4.



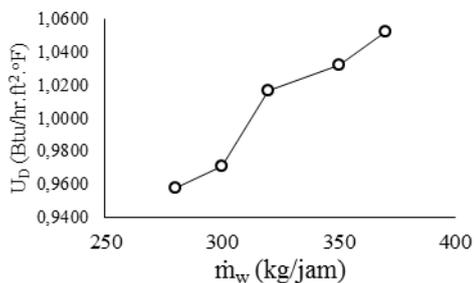
Gambar 4. Grafik Perbandingan Uc dengan Massa Air Pendingin

. Dari Gambar 4, kenaikan laju alir massa air pendingin akan meningkatkan nilai Uc. Kenaikan nilai Uc ini tidak terlalu signifikan dikarenakan laju alir produk pada *inner pipe* berjalan konstan.

Nilai Uc merupakan koefisien perpindahan panas bersih yang didapat dari perkalian koefisien perpindahan panas pada *inner pipe* dan *annulus* dibagi dengan penjumlahan koefisien keduanya. Nilai koefisien dipengaruhi oleh nilai jH yang di dapat dari *Reynold Number*, lalu *Re* berbanding lurus dengan laju alir massa air pendingin. Jadi pengaruh Uc terhadap laju alir massa adalah berbanding lurus, seiring naiknya laju alir massa air pendingin maka naik pula nilai Uc. Seperti yang ditunjukkan pada grafik Gambar 4 bahwa kenaikan laju alir massa air pendingin akan meningkatkan nilai Uc. Kenaikan nilai Uc ini tidak terlalu signifikan dikarenakan laju alir produk pada *inner pipe* berjalan konstan (Manurung, 2017).

Perbandingan U_D dengan Laju Alir Massa Air Pendingin

Berdasarkan praktikum yang telah dilakukan didapatkan perbandingan U_D dengan laju alir massa air pendingin dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan U_D dengan Massa Air Pendingin

Dari Gambar 5, nilai Uc dan Ud cenderung meningkat seiring dengan peningkatan laju alir fluida panas. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya laju alir, maka transfer panas dari fluida panas ke fluida dingin menjadi lebih cepat (Manurung, 2017). Sesuai dengan persamaan :

$$U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} = \rho \cdot v_h \cdot c_{ph} \cdot \Delta T$$

(Manurung, 2017.)

Dimana,

U = koefisien perpindahan panas

v_h = laju alir fluida panas

ΔT = perubahan suhu

ΔT_{LMTD} = beda suhu rata-rata logaritma ($^{\circ}C$)

ρ = densitas

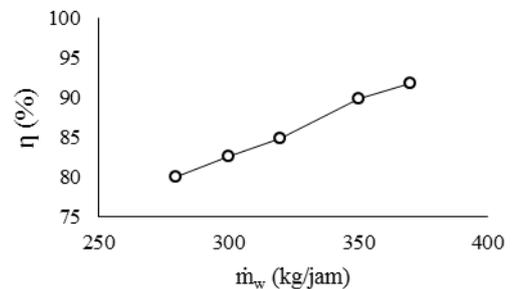
C_{ph} = kalor jenis

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa semakin nilai koefisien perpindahan panas (U) berbanding lurus dengan laju alir fluida (v_h), sehingga semakin besar laju alir hot fluid dalam heat exchanger maka semakin besar pula nilai U yang diperoleh.

Hal ini disebabkan karena adanya proses fouling yang terjadi dalam heat exchanger yang dapat memperlambat laju alir sehingga harga Ud (koefisien perpindahan panas overall kalor) yang diperoleh lebih kecil daripada Uc (koefisien perpindahan panas overall bersih) (Clarissa, 2014).

Perbandingan Efisiensi Termal dengan Laju Alir Massa Air Pendingin

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan perbandingan efisiensi termal dengan laju alir massa air pendingin dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Efisiensi Termal dengan Laju Alir Massa Air Pendingin

Dari Gambar 6, efisiensi aktual 84.9 %. maka laju alir massa air pendingin dapat meningkatkan efisiensi termal, dan dari itu perlu ditingkatkan dengan mempengaruhi laju alir agar proses perpindahan panas yang terjadi semakin besar. maka laju alir massa air pendingin dapat meningkatkan efisiensi termal.

Hal ini terjadi karena Semakin besar laju aliran massa fluida dingin yang dialirkan pada suatu alat penukar panas maka akan semakin besar keefektifan yang akan dihasilkan oleh alat penukar panas tersebut, maka efisiensi alat penukar panas besar (Alfi dkk, 2015).

4. KESIMPULAN

Dari rancang bangun prototype konversi sampah polypropylene menjadi bahan bakar cair, maka dapat disimpulkan:

1. Telah dihasilkan prototype konversi sampah *polypropylene* menjadi bahan bakar cair dengan kapasitas bahan baku plastik sebanyak 12 kg.
2. Dari hasil Analisa dapat dilihat bahwa produk FRA bahan baku Polypropylene (PP) lebih

- mendekati karakteristik dari bahan bakar bensin.
3. Kenaikan laju alir massa air pendingin akan meningkatkan nilai U_c .
 4. Pengaruh U_D terhadap laju alir yakni adanya hubungan berbanding dengan kalor yang di serap produk, maka semakin tinggi kalor yang diserap maka semakin banyak massa air pendingin yang dibutuhkan.
 5. Semakin tinggi laju alir yang di variasikan maka semakin tinggi perpindahan panas yang terjadi, sehingga efisiensi termal semakin meningkat.
 6. Pada rancang bangun prototype konversi sampah plastik dihasilkan produk berupa bahan bakar cair, minyak berat, lilin, dan residu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahvenainen, Raija. 2003. *Modern Plastics Handbook (edisi ke-1st)*. Woodhead Publishing Limited. hal. 24.
- Alfi, Zandhika, May Saktianie, Nurul Qiftiyah, dan Rizka Amalia. 2010. *Laporan Laboratorium Proses Pemisahan Dengan Perpindahan Massa*. Fakultas Teknologi Industri, ITS. hal 12.
- Budianto, Agus, Ririn Adyus, dan Trifena Chrisnawangsih. 2017. *Pirolisis Botol Bekas Minuman Air Mineral Jenis PET Menjadi Fuel*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V, 201-206.
- Chang, Raymond. 2005. *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti Jilid I*. Jakarta: Erlangga
- Clarissa, Intan. 2014. *Laporan Laboratorium Unit Operasi Teknik Kimia*. UNDIP. hal 17.
- Ermawati Rahyani. 2011. *Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif*. Jurnal Riset Industri, 257-263.
- Mahendra, Fajri Nugraha. 2013. *Pembuatan Fuel dari Liquid Hasil pirolisis Plastik Polipropilen Melalui Proses Reforming Dengan katalis NiO/T-Al₂O₃*. Jurnal Teknik Pomits Vol 2. No.2
- Manurung, Nelson. 2017. *Pembuatan Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Plastik Dengan Menggunakan Dua Kondensor*. Politeknik Negeri Medan: Medan
- Migas. (n.d.). *Belajar dan Belajar*. Retrieved from <http://abdulrohimbetawi.blogspot.com/2011/04/separator-dan-macam-macam-separator.html>
- Saktian, Reno. 2015. *Sampah Ber-Energi*. Program Kreativitas Mahasiswa.
- Salamah, Siti Aktawan. 2016. *Pemurnian Hasil Cair Pirolisis sampah plastik pembungkusan dengan*. *Chemica* Volume 3, 31-34.
- Surono, Untoro Budi. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Universitas Janabadra Yogyakarta: Yogyakarta
- Thahir, Ramli. 2013. *Spesifikasi Dan Analisa Kualitas Bahan Bakar Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis Polypropylene*. Politeknik Negeri Samarinda: Samarinda