

RANCANG BANGUN ALAT KONVERSI LIMBAH PLASTIK DAN BATOK KELAPA MENJADI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DENGAN METODE PIROLISIS

DESIGN OF CONVERSION TOOLS OF PLASTIC WASTE AND COCONUT COCONUTS TO BE ALTERNATIVE FUEL USING PIROLYSIS METHOD

**B. Nurulita^{a*}, S. H. Daulay^a, A. Saputra^a, F. A. Gunawan^a, V.F. Rizka^a,
J. Sutrisno^b, A. S. Silitonga^a,**

^aJurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Medan

^bJurusan Teknik Mesin Program Studi Mesin, Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

Email korespondensi: belanurulita@students.polmed.ac.id

Abstrak

Pirolisis merupakan proses degradasi termal dari material tanpa adanya oksigen atau dalam kekurangan oksigen. Pirolisis plastik dan batok kelapa salah satu metode untuk mengubah limbah plastik dan batok kelapa menjadi bahan bakar. Pada penelitian ini, dirancang reaktor pirolisis yang masing-masing tabung reaktornya berkapasitas 1 kg dengan pemanasan listrik dimana memiliki dua tabung reaktor dengan diameter 6 inci dan tinggi 450 mm serta kondensor dengan panjang total 300 mm. Sampah yang digunakan adalah sampah plastik *Polyethylene* dan Batok kelapa. Pirolisis dilakukan pada temperatur 0-400 °C dan waktu reaksi 120 menit. Hasil Minyak Pirolisis Limbah Plastik yang dihasilkan adalah 442 ml dan memiliki nilai kalor rata rata sebesar 46,1875 MJ/kg. Hasil kondensat padat yang dihasilkan paling banyak adalah 0,4 kg pada batok kelapa dan memiliki nilai kalor minyak pirolisis dan batok kelapa sebesar 3.92924 MJ/kg.

Kata kunci: Batok Kelapa, Pirolisis, Plastik *Polyethylene*, Nilai Kalor.

Abstract

Pyrolysis is a process of chemically decomposing organic materials at elevated temperatures in the absence of oxygen. The process typically occurs at temperatures above 430 °C (800 °F) and under pressure. It simultaneously involves the change of physical phase and chemical composition and is an irreversible process. The Polyethylene (PE) Plastic - coconut shell is one of the methods to convert plastic waste - coconut shell into fuel. In this study, a pyrolysis reactor is designed with each reactor tube with a capacity of 1 kg with electric heating which has 2 reactor tubes with a diameter of 6 inches and a height of 450 mm and a condenser with a total length of 300 mm. The waste used is PE plastic waste and coconut shell. Pyrolysis was performed at a temperature of 0-400 °C and a reaction time of 120 minutes. The output of plastic waste pyrolysis oil produced is 442 ml and has an average caloric value of 46.1875 MJ / kg. The most concentrated condensate product produced is 0.4 Kg on coconut shell and has a caloric value of coconut shell pyrolysis oil of 3.92924 MJ / kg.

Keywords: Coconut Shell, Pyrolysis, Polyethylene Plastic, Heat Value.

PENDAHULUAN

Pemakaian energi dan peningkatan timbulan sampah merupakan dua permasalahan besar yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Di Indonesia, kebutuhan masyarakat akan bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari fosil semakin hari semakin meningkat, menyebabkan semakin menipisnya cadangan minyak dan gas bumi. Besarnya ketergantungan Indonesia pada BBM yang berbanding terbalik dengan semakin menipisnya persediaan minyak bumi telah diantisipasi oleh Pemerintah dengan diterbitkannya Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Instruksi Presiden No.1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati sebagai bahan bakar lain (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2006).

Tingginya konsumsi masyarakat dunia terhadap bahan bakar fosil tidak dapat diimbangi oleh cadangan bahan bakar fosil yang terus menipis. Dari total kebutuhan, dan meningkat menjadi sebesar 14.898 juta TOE pada tahun 2035 meskipun pangsaanya turun menjadi sebesar 80%. Pada periode tahun 2011-2035, kebutuhan batubara mengalami peningkatan terbesar dibanding bahan bakar fosil lainnya dan mulai tahun 2020 batubara akan mengambil alih peran minyak atau terbesar dalam bauran energi primer. Pada tahun 2011, penggunaan batubara sebesar 3.773 juta TOE dan meningkat 44% pada tahun 2035. Tetapi pada skenario 450, dengan penerapan kebijakan lingkungan yang ketat, kebutuhan batubara mengalami penurunan sebesar 33% pada tahun 2035 (outlookenergi, 2019).

Di Indonesia sendiri pengembangan bahan bakar alternatif semakin mendesak. Hal ini tercermin semakin menurunnya jumlah produksi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir, sementara permintaan konsumsi BBM cenderung tetap bahkan bertambah. Kekurangan stok ini terpaksa ditutupi dengan melakukan impor BBM dari luar negeri. Minyak masih tetap menjadi bahan bakar yang penting dalam bauran energi primer global, meskipun pangsaanya turun dari 31% pada tahun 2011 menjadi 27% pada tahun 2035. Kebutuhan minyak global pada tahun 2011 diperkirakan sebesar 86,7 juta barel per hari dan meningkat menjadi 101,4 juta barel per hari pada tahun 2035 (outlookenergi, 2019). Semakin menurunnya produksi BBM di Indonesia tentunya perlu diatasi mengingat tetap tingginya konsumsi berbagai jenis BBM di dalam negeri.

Sampah yang berasal dari plastik dan batok kelapa ternyata jumlahnya cukup besar. 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. Namun dibalik semua kelebihannya, bahan plastik memiliki masalah setelah barang tersebut tidak digunakan lagi (Trisunaryanti, 2018). Barang berbahan plastik tidak dapat membusuk, tidak dapat menyerap air, maupun tidak dapat berkarat, dan pada akhirnya tidak dapat diuraikan/didegradasi oleh mikroorganisme dalam tanah sehingga menimbulkan masalah bagi lingkungan (Rahyani, 2011). Selama ini, cara pengolahan sampah dengan pembakaran bukan metode yang aman bagi lingkungan karena dapat meningkatkan emisi gas yang potensial menjadi polutan dan beberapa partikulat pencemar lainnya. Metode pemecahan rantai polimer yang sudah dikenal adalah pirolisis, gasifikasi, degradasi termal maupun katalitik (Trisunaryanti, 2018). Selain itu Permasalahan batok kelapa walaupun sebagai permasalahan limbah pertanian.

Pirolisis merupakan proses degradasi termal dari material tanpa adanya oksigen atau dalam keadaan kekurangan oksigen (Patni dkk., 2013). Dengan menggunakan metode ini limbah plastik dapat tereduksi hingga 90% (Siddiqui dan Redwhi 2009). Beberapa penelitian seputar konversi sampah plastik menjadi produk cair berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan (Indra dkk., 2018). Pada pirolisis plastik, hal yang perlu diperhatikan adalah temperatur pada reaktor. Menurut Ramadhan dkk. (2015), temperatur optimal untuk pirolisis plastik HDPE adalah 420°C. Alat

pirolisis plastik memiliki potensi yang sangat baik sebagai alat konversi energi, terutama untuk limbah plastik yang sulit untuk ditangani.

Sudah banyak penelitian mengenai pirolisis plastik ini dan mempunyai sumber panas yang berbeda-beda. Gabe (2015) meneliti mengenai pirolisis plastik PE dimana sumber panas menggunakan listrik dengan nilai kalor 46,13 MJ/kg h. Santoso (2010) meneliti mengenai pirolisis plastik PP dan LDPE dengan nilai kalor 43,33 MJ/kg dimana sumber panas menggunakan gas LPG. Akan tetapi penggunaan listrik sebagai sumber panas tergolong mahal, dan gas LPG merupakan bahan bakar yang tidak terbarukan. Biomassa memiliki potensi sebagai energi terbarukan.

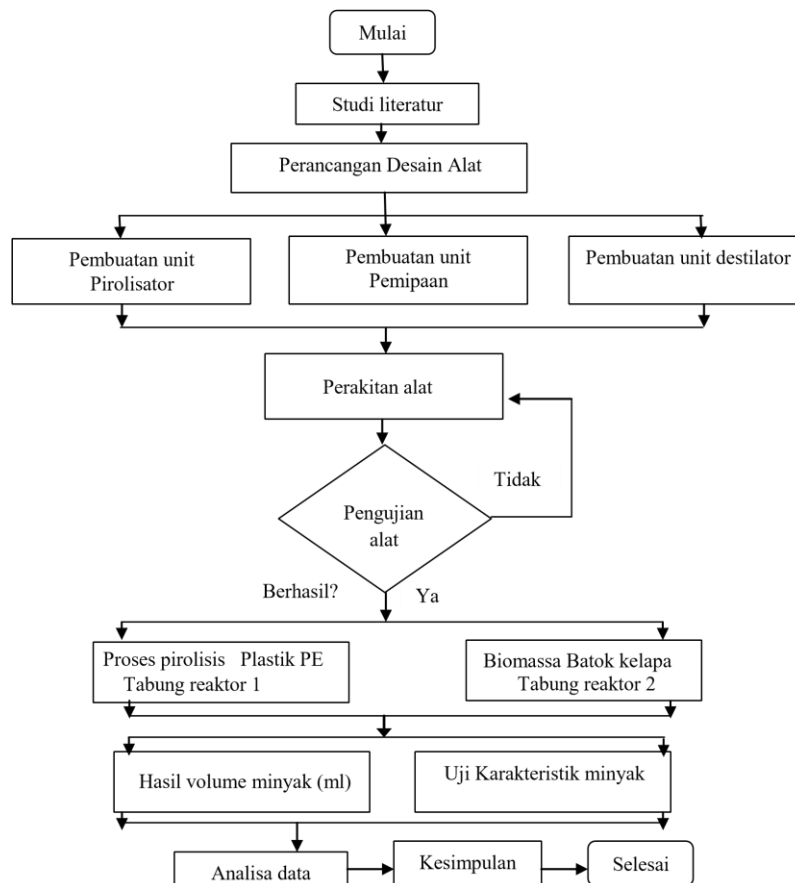
Dari dua permasalahan tersebut perlu adanya suatu energi alternatif untuk mengatasi kelangkaan dan juga naiknya harga bahan bakar fosil tersebut. Energi alternatif yang dapat kita kembangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang nantinya dapat membantu memberikan solusi yaitu pemanfaatan limbah plastik dan batok kelapa menjadi Bahan bakar Alternatif.

Penelitian Rancang Bangun Alat Konversi Limbah Plastik dan Batok Kelapa Menjadi Bahan Bakar Alternatif dengan Metode Pirolisis dirancang terpisah menjadi dua tabung reaktor yaitu tabung reaktor limbah plastik PE dan batok kelapa. Hasil akhir produk dari alat pirolisis plastik PE dan batok kelapa ini diharapkan adalah bahan bakar minyak, arang kelapa dan asap cair.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dengan cara merancang dan membuat alat pirolisis, melakukan uji coba dan pengambilan data hasil pirolisis limbah plastik dan batok kelapa.

Diagram Alir

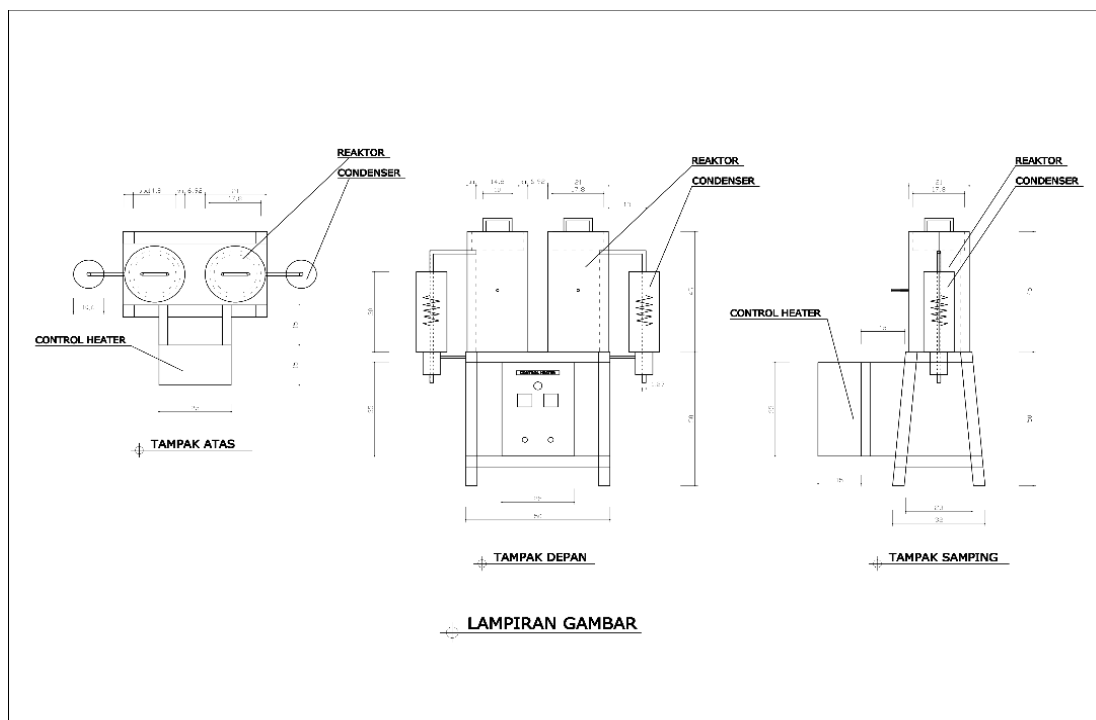


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Perancangan alat disesuaikan dengan fungsi, karakteristik dan lingkungan. Pertama, proses perancangan alat dimulai dari penentuan dimensi atau ukuran komponen alat pirolisis. Mempersiapkan alat-alat yang digunakan dalam proses pirolisis. Merangkai seluruh perlengkapan alat pirolisis yang terdiri dari reaktor dan kelengkapannya, pipa penghantar, elemen, panel, kondensor dan kelengkapannya, penampung minyak hasil pirolisis dan saluran air pendingin beserta kelengkapannya pada kerangka besi yang sudah disiapkan. Alat konversi limbah plastik-batok kelapa memiliki dua tabung reaktor yaitu tabung Reaktor 1 limbah plastik dan tabung reaktor dua batok kelapa. Tabung reaktor yang terbuat dari stainless berbentuk tabung kondensor sebagai pendingin uap. Alat ini menggunakan elemen sebagai pemanas tabung pembakaran reaktor. Elemen dihubungkan ke listrik dan uap yang dihasilkan dari pembakaran tabung Reaktor 1 dan 2 akan keluar melalui pipa menuju kondensor yang dimana didalam kondensor terdapat pipa spiral yang areanya dikelilingi air pendingin sehingga berubah fasa menjadi cair dan menghasilkan minyak plastik dan batok kelapa kemudian ditampung dalam wadah penampung. Berikut adalah Gambar 2. Rancangan Alat Konversi limbah plastik- batok kelapa dan Gambar 3. Design Alat:



Gambar 2. Rancangan Alat Konversi Limbah Plastik- Batok Kelapa



Gambar 3. Design Alat Tampak Atas, Depan, Samping

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil rancang bangun alat konversi Limbah Plastik-Batok Kelapa ini, alat yang tercipta dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Alat Konversi Limbah Plastik- Batok Kelapa

Hasil Pirolisis

Setelah dilakukan proses pirolisis pada plastik jenis PE dan Batok Kelapa maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Pirolisis Plastik PE

Tabel 1. Hasil Percobaan Limbah Plastik PE

Pengujian: Plastik PE		Kapasitas: 1 kg	
Waktu (menit)	Temperatur (°C)	Hasil Minyak (ml)	Keterangan
0	30	0	Tidak ada minyak
15	65	0	Tidak ada minyak
30	118	5	Tetes minyak + air
45	162	20	Minyak
60	223	55	Minyak mulai jernih
75	259	75	Minyak mulai jernih
90	304	80	Minyak mulai jernih
105	350	95	Minyak mulai jernih
120	400	112	Minyak
Total		442 ml	

Tabel 2. Hasil Uji Nilai Kalor Limbah Plastik PE

Pengujian: Uji nilai kalor plastik PE					
Jumlah bahan bakar yang akan diuji (gr)	$\Delta T(K)$	Temperatur Awal (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)	Waktu (menit)	Catatan
0,8	5,695	20,5068	47,8421	8 Menit	Hasil Partikel sedikit
0,8	5,869	21,608	47,9254	8 Menit	Hasil partikel sedikit
0,8	5,094	20,4397	42,795	8 Menit	Hasil partikel sedikit
Hasil rata- rata nilai kalor			46,1875 MJ/kg		

Pirolisis Batok Kelapa

Tabel 3. Hasil Percobaan Limbah Batok Kelapa

Pengujian : Batok kelapa		Kapasitas: 1 kg		
Waktu	Temperatur (°C)	Hasil Minyak (ml)	Keterangan	
0	30	0	Tidak ada minyak	
15	126	0	Tidak ada minyak	
30	140	0	Tidak ada minyak	
45	162	0	Tidak ada minyak	
60	223	10	Air	
75	350	15	Minyak	
90	385	22	Minyak	
105	360	24	Minyak +air	
120	400	33	Minyak+ air	
Total Minyak		94 ml		

Tabel 4. Hasil Uji Nilai Kalor Limbah Batok Kelapa

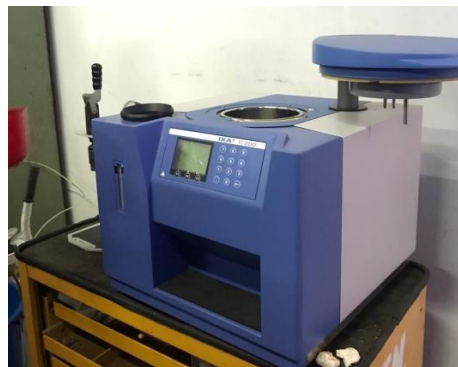
Pengujian: Uji nilai kalor minyak pirolisis batok kelapa					
Jumlah bahan bakar yang akan diuji (gr)	$\Delta T(K)$	Temperatur Awal (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)	Waktu (menit)	Catatan
0,8	0,4293	20,545	3,60612	8 Menit	Bahan bakar masih ada
0,8	0,4395	20,745	3,6918	8 Menit	Bahan bakar masih ada
0,8	0,5345	20,4397	4,4898	8 Menit	Bahan bakar masih ada
Rata – rata nilai kalor batok kelapa			3.92924 MJ/kg		

Pengujian Karakteristik Minyak

Setelah melakukan proses pirolisis pada plastik maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian karakteristik minyak pirolisis plastik-batok kelapa yang hasilnya adalah sebagai berikut:

a. Uji Nilai Kalor Plastik PE

Hasil Bahan bakar alternatif dari limbah plastik PE ini kemudian diuji nilai kalornya (*heating value*) dengan alat *Bomb Calorimetry*. Alat pengujian nilai kalor ini merk IKA C 200 buatan Germany. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan. Hasil Pengujian Nilai kalor Plastik PE dapat dilihat pada Tabel 2 dan *bomb calorimeter* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Bomb Calorimeter*

Perbandingan kualitas minyak hasil pirolisis berikut dapat dilihat pada Tabel 5 yakni nilai kalor dari berbagai macam bahan bakar yang sudah sering digunakan

Tabel 5. Nilai Kalor Bahan Bakar (Santoso, 2010.)

No	Bahan Bakar	Nilai Kalor (MJ/kg)
1	Minyak Tanah	43
2	Bensin	47,3
3	Aseton	29
4	Batubara	15-27
5	Kokas	28-31
6	Minyak diesel	44,8
7	Arang	29,6
8	Butana	49,5
9	Alkohol 96%	30
10	Hidrogen	141,79
11	Solar	46,5

Berdasarkan perbandingan nilai kalor dari minyak Plastik PE yang diuji dengan nilai kalor bahan bakar yang biasa digunakan. Hasil akhir yang didapatkan bahwa nilai kalor minyak pirolisis plastik PE standart dengan bensin dan bahan bakar lain. Tetapi minyak yang dihasilkan masih sedikit kotor maka perlu penyaringan lebih lanjut. Dimana hasil akhir sisa pembakaran minyak di bomb menghasilkan partikel partikel kecil sedikit dapat disimpulkan bahwa bahan bakar minyak pirolisis ini habis terbakar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Suroño dan Ismanto (2016) yang meneliti nilai kalor dari berbagai macam material, plastik yang berasal dari plastik PP, PE, dan PET memiliki nilai kalor masing masing 46,5 MJ/kg, 44,9 MJ/kg dan plastik PET Tidak menghasilkan minyak sama sekali. Nilai kalor dari minyak pirolisis memiliki nilai rata-rata 46,1875 MJ/kg, jika dibandingkan dengan berbagai macam bahan bakar pada tabel 4.5, maka nilai kalor dari minyak pirolisis mendekati nilai kalor minyak solar yaitu sebesar 46,5 MJ/kg. Sedangkan nilai kalor tertinggi dari minyak pirolisis yaitu sebesar 47,9254 MJ/kg mendekati nilai kalor dari bensin yang memiliki nilai kalor sebesar 47,3 MJ/kg.

b. Uji Nilai Kalor Batok Kelapa

Nilai kalor dari minyak pirolisis batok kelapa dapat dilihat pada Tabel 4. dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai kalor minyak dari batok kelapa sangat rendah dimana nilai kalor rata rata batok kelapa 3.92924 MJ/Kg dan hasil pembakaran menggunakan bomb calorimeter proses minyak batok kelapa tidak terbakar seluruhnya. Hasil padatan pirolisis batok kelapa dapat menghasilkan briket.

c. Perbandingan Nilai Kalor Limbah Plastik PE dengan Batok Kelapa

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kalor minyak pirolisis Limbah Plastik PE cukup tinggi dibandingkan minyak pirolisis Batok kelapa yang rendah. Dari Tabel 2 dan 4 diketahui bahwa rata-rata nilai kalor dari minyak pirolisis yang dihasilkan adalah 46,1875 MJ/kg pada plastik PE dan 3.92924 MJ/kg pada limbah batok kelapa. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perbedaan bahan baku mempengaruhi nilai kalor, hal ini disebabkan karena unsur penyusun dari minyak pirolisis plastik PE dan batok kelapa berbeda. Minyak batok kelapa lebih sedikit mengandung air sehingga proses pembakaran tidak tahan lama.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pirolisis antara limbah plastik PE – Batok Kelapa dan pengujian karakteristik minyak pirolisis yang dihasilkan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil minyak terbanyak adalah pada temperatur dinding reaktor 400°C, pada plastik PE.
2. Nilai kalor rata-rata minyak pirolisis plastik PE adalah 46,1875 MJ/kg dan dimana nilai kalor rata-rata minyak pirolisis plastik PE mendekati solar.
3. Nilai kalor tertinggi dari minyak pirolisis yaitu sebesar 47,9254 MJ/kg mendekati nilai kalor dari bensin yang memiliki nilai kalor sebesar 47,3 MJ/kg.
4. Nilai kalor rata-rata minyak pirolisis batok kelapa 3.92924 MJ/kg. Hasil akhir pirolisis minyak batok kelapa cenderung mengandung air.
5. Pengaruh temperatur dinding reaktor tidak signifikan terhadap nilai kalor minyak pirolisis plastik PE maupun batok kelapa karena nilainya hampir sama.
6. Diantara jenis bahan baku yang telah diteliti, maka jenis bahan baku yang memiliki potensi nilai kalor yang lebih unggul jika diolah menjadi minyak pirolisis adalah bahan baku plastik PE.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Politeknik Negeri Medan (POLMED).

REFERENSI

- A.S.Silitonga, H.H.Masjuki, W.T.Chong, M.H.Boosroh. *Overciew properties of biodiesel diesel blends from edible and non-edibel feedstock. Reneweble and Sustainble Energy Reviews*. Volume 22, June 2013, Pages 346-360.
- Aydinli, B & Caglar, A., 2010. "The Comparison of Hazelnut Shell Co-Pyrolisis with Polyethylene Oxide and Previous Ultra-Hight Molecular Weight Polyethylene". *Journal of Analitical and Applied Pyrosysis*.
- Bajus, M. dan Hájeková, E., 2010, *Thermal Cracking of The Model Seven Components Mixed Plastics into Oils/Waxes, Petroleum & Coal* 52 (3) 164172. Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2008. Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak. Jakarta.
- Boy Macklin Pareira, 2009, Daur Ulang Limbah Plastik. Available from: URL :<http://www.ecoreccycle.vic.gov.au>
- Budi, S. dan Ismanto. 2016. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP. PET dan PEMenjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. Skripsi. Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- C-Tech Innovation Ltd, 2003. *Thermal Method of Municipal Waste Treatmen. Capenhurst Technology Park, Chester, UK*.
- Ermawati, Rahyani. 2011. Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif. Balai Besar Kimia Kementerian Perindustrian.
- Gabe FAPA. 2015. "Analisa Termal Pada Rancang Bangun Reaktor Pirolisis PE Untuk Memproduksi Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik"
- Gaurav dkk. 2014. "Conversion Of Ldpe Plastic Waste Into Liquid Fuel By Thermal Degradation
- H.C.Ong, A.S.Silitonga, H.H. Masjuki, T.M.I Mahlia, W.T.Chong, M.H.Boosroh. *Production and comparative fuel properties of biodiesel from non-edible oils: Jatropha curcas, Sterculia foetida ang Ceiba pentandra. Energy Conversion and Management*. Volume 73, September 2013, Pages 245-255. J.P.Holman. (1988). Perpindahan Kalor. Jakarta: ERLANGGA.

- Kurniawan, I., Martin, A., Mintarto, 2015. Rancang Bangun Kondenser pada Pengering Beku Vakum.
Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia., 2006. Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran. 1-5.
- Nasrun, E. K. (2015). Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis . *ISSN 2303-1360*, 1-4.
- Nurhilal, O; Suryaningsih, S. (2018). *Pengaruh Komposisi Campuran Sabut dan Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kalor Biobriket dengan Perekat Molase*. Bandung: Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika Vol 02 No 01 (2018) 8-14 outlookenergi. (2019). *kondisi energi dunia*. Jakarta: kementerian ESDM.
- Patni N, Shah P, Agarwal S, Singhal P. *Alternate Strategies for Conversion of Waste Plastik to Fuels*. ISRN Renewable Energy; 2013. Vol 2013.
- Pranata, J., 2008, Pemanfaatan Sampah Kota Sebagai Bahan Bakar Pada Turbin Gas Yang Tidak Terpakai Di PT Arun NGL Menggunakan Proses Gasifikasi, Aceh.
- Purwanti Ani dan Sumarni, 2008, Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). AKPRIND. Yogyakarta
- Ramadhan P,A., dan M.Ali., 2015. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*.1:208210.
- Ramadhan A, Ali M. 2014. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* Vol. 4. No 1.
- Santoso J. 2010. "Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performansi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari sampah Plastik".
- Trisunaryanti, W. (2018). *Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin & Solar*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tubnonghee R, Sanongraj S, Sanongraj W. 2010 *Comparative Characteristics of Derived Plastik Oil and Commercial Diesel Oil*. The 8th Asian-Pacific
- Wiratmaja, I.G. 2010. Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram*. 2:145-154.