

PIROLISIS SAMPAH PLASTIK BUNGKUS MIE INSTAN DENGAN MEMANFAATKAN ABU VULKANIK GUNUNG MERAPI SEBAGAI KATALIS

Pyrolysis of Instant Noodle Wrap Plastic Waste with Mount Merapi Ash as Alternative Catalyst

Damar Wahyu Prianto

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km 14,5 D.I. Yogyakarta–55584

e-mail : wp.damar@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan plastik semakin hari semakin banyak. Salah satu contohnya adalah penggunaan sampah plastik bungkus mie instan. Hal tersebut disebabkan oleh peningkatan konsumsi mie instan yang bertambah karena menjadi pilihan sebagai makanan alternatif. Alhasil, bungkus plastik mie instan tersebut menjadi sampah plastik. Bungkus plastik mie instan menggunakan plastik polypoylene yang memiliki nilai kalor tinggi mencapai 46,4 MJ/kg. Penelitian ini dilakukan untuk melakukan konversi sampah bungkus plastik mie instan menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan pirolisis dan menggunakan abu vulkanik merapi sebagai katalisnya. Abu vulkanik Merapi dipilih menjadi katalis alternatif karena memiliki kandungan silikia yang cukup banyak. Abu vulkanik Merapi tidak mengalami pemurnian. Akan tetapi abu vulkanik Merapi diaktivasi menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh dari variasi berat katalis. Sebanyak 100 gram bungkus plastik mie instan dipotong dan dimasukkan ke kolom reaktor pirolisis dengan suhu 500°C sampai yield yang dihasilkan berhenti. Variasi katalis yang digunakan adalah 10; 20; 30 (% berat). Hasil terbaik yang didapatkan dengan menggunakan katalis 30% berat. Produk yang didapatkan memiliki densitas $0,72 \text{ gram/cm}^3$, viskositas absolut 8,3 centipoise, titik nyala pada 112°C , nilai kalor $9307,2 \text{ cal/gram}$. Hasil analisis menunjukkan bahwa yield yang dihasilkan mendekati dengan SNI biodiesel.

Kata kunci : katalis alternatif, sampah plastik bungkus mie instan, abu gunung Merapi, pirolisis

ABSTRACT

Plastic usage is increased nowadays. Instant noodle wrap plastic is one of the example. The consumption of instant noodle is increased too because it could be a choice for an alternative food. In this case noodle wrap plastic will be plastics waste. Instant noodle wrap plastic made from polypropylene that has high heat value with 46,4 MJ/Kg. This research was conducted to convert instant noodle wrap plastic waste into fuel oil using pyrolysis and mount Merapi ash as the catalyst. Mount Merapi ash was chosen to become an alternative catalyst because it contained with a lot of silica from volcanic ash when mount Merapi erupted. Mount Merapi ash did not has purification process. However, Mount Merapi ash has activation process with $\text{Ca}(\text{OH})_2$. The purpose of this research is to see the influence of alternative catalyst weight variation. A total of 100 grams of instant noodle plastic wrap waste were cut in a batch pyrolysis reactor at temperature of 500°C until the yield stopped with catalyst variation 10; 20 ;30 (% weight). The best yield quality was obtained at 30% of catalyst. The product result obtained is density $0,72 \text{ gram/cm}^3$, absolute viscosity value 8,3 centipoise, flash point value 112°C , calorific value $9307,2 \text{ cal/gram}$. The analysis result show that yield of the product near biodiesel Indonesian national standard.

Key words: alternative catalyst, Instant noodle wrap plastic waste, mount Merapi ash, pyrolysis

1. Pendahuluan

Dewasa ini penggunaan plastik semakin banyak. Semakin banyak penggunaan plastik maka semakin banyak pula sampah plastik yang akan dihasilkan. Meningkatnya ekonomi, perubahan gaya hidup, dan meningkatnya mobilitas penduduk dapat meningkatkan volume sampah plastik (Azkha, 2006).

Mobilitas masyarakat dalam beraktifitas menyebabkan masyarakat menginginkan segala hal dapat dikerjakan dengan mudah, termasuk untuk makan. Mie instan menjadi salah satu pilihan masyarakat yang ingin makan dengan mudah karena mudah dan cepat dalam membuatnya. Akan tetapi semakin banyak masyarakat memakan mie instant akan meningkatkan sampah plastik karena mie instan menggunakan plastik sebagai pembungkus kemasannya.

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi dengan penyusun utamanya hidrogen dan karbon. Bahan baku utama untuk membuat plastik adalah naptha yang berasal dari penyulingan minyak bumi.

Sampah plastik dapat dikurangi dengan melakukan mengurangi penggunaannya, menggunakan ulang, dan mendaur ulangnya. Daur ulang merupakan proses pengolahan kembali barang yang dianggap sudah tidak bernilai. Salah satu produk dari daur ulang plastik dapat menghasilkan energi berupa minyak. Setiap jenis plastik memiliki nilai kalornya masing-masing. Jenis plastik yang sering digunakan untuk didaur ulang menjadi bahan bakar minyak adalah *polypropilena* dengan nilai kalor 46,4 MJ/kg dan *poly ethylene therephtalet* dengan nilai kalor 46,3 MJ/kg (Das dan Pande, 2007). Penelitian yang dilakukan oleh Lopez (2011) yang mencampurkan plastik PE, PP, PS, PET, dan PVC secara bersamaan dengan persentase komposisi yang berbeda dapat menghasilkan minyak pirolisis dengan rantai karbon utama penyusun bensin yaitu C₅-C₉. Meski demikian hasil pirolisis tersebut belum dapat langsung diaplikasikan.

Sampah plastik dapat menjadi salah satu alternatif dalam menanggulangi kebutuhan akan bahan bakar minyak. Sampah plastik dapat diolah kembali menjadi bahan bakar minyak dengan metode pirolisis. Pirolisis merupakan salah satu teknologi degradasi termal bahan-bahan polimer seperti plastik maupun material organik seperti biomassa dengan pemanasan tanpa menggunakan oksigen. Pada umumnya rantai polimer pada plastik akan mengalami dekomposisi ketika suhu termal berada 1,5 kali dari temperatur transisinya. (Budiyantoro, 2010) dalam (Surono, 2013).

Proses ini secara umum dapat berlangsung pada suhu antara 500-800°C (Aguado dkk, 1999). Hasil dari dekomposisi kimia ini dapat berupa cairan. Cairan ini adalah produk akhir dari pirolisis yang dapat dijadikan bahan bakar (Buekens dan Huang, 1989) dalam (Syamsiro, 2015).

Ada kalanya produk dari pirolisis tidak sesuai dengan keinginan seperti jumlahnya yang sedikit dan kualitas yang buruk. Pada pirolisis dapat dinaikan kualitas dan kuantitasnya dengan menambahkan katalis dalam Keberadaan katalis dapat menurunkan kebutuhan energinya dan dapat menghasilkan formasi hidrokarbon yang lebih banyak sehingga pirolisis berjalan lebih efisien.

Katalis yang dapat digunakan untuk pirolisis antara lain adalah HZM-5 Zeolite, Amorphous SiO₂-AL₂O₃ dan MCM-41 (Uddin, 1997). Akan tetapi katalis tersebut memiliki bahan baku dan pembuatan yang mahal sehingga cukup sulit jika penggunaan katalis ini diterapkan untuk pirolisis di masyarakat. Alternatif yang dapat digunakan sebagai katalis adalah *fly ash* karena kandungan silikanya yang tinggi (Jonathan, 2003).

Menurut Sulastri (2010), silika dapat ditemukan pada makhluk hidup berupa amorf dan dapat ditemukan pada bebatuan berbentuk kristalin.

Abu vulkanik merapi juga dapat menjadi katalis dalam pirolisis karena mengandung SiO₂ dan AL₂O₃ yang cukup tinggi. SiO₂ dan AL₂O₃ merupakan bahan utama pembuatan katalis pirolisis (Kusumastuti, 2012).

Pada penelitian Firman (2016) menjelaskan bahwa semakin luas permukaan katalis yang digunakan maka akan semakin banyak kontak yang terjadi dengan katalis ketika proses pirolisis sedang berlangsung. Hal tersebut akan membuat minyak hasil pirolisis semakin banyak.

2. Metode

2.1 Metodologi

Bahan yang digunakan adalah sampah plastik *polypropylene* (PP) bungkus plastik mie instan dan katalis abu vulkanik merapi yang telah diaktivasi.

2.2 Variabel Tetap

Variabel tetap yang digunakan pada penelitian ini adalah abu vulkanik gunung Merapi yang telah bercampur dengan pasir dan tanah disaring dengan ukuran 100 mesh. Aktivasi katalis menggunakan basa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan kelarutan 1 M. Plastik yang digunakan adalah bungkus plastik mie instan yang telah dibersihkan seberat 100 gram setiap prosesnya.

2.3 Variabel Berubah

Variasi dilakukan pada berat katalis yaitu dengan 10; 20; 30 (% berat plastik)

2.4 Persiapan Sampah Plastik

Sampah bungkus plastik mie instan didapat dari pengumpulan sampah mie instan pada warung makan. Plastik yang telah terkumpul kemudian dicuci dan dibersihkan. Plastik dikeringkan dengan kipas angin dan sinar matahari. Setelah kering plastik dipotong dengan ukuran 3×3 cm.

2.5 Persiapan Katalis

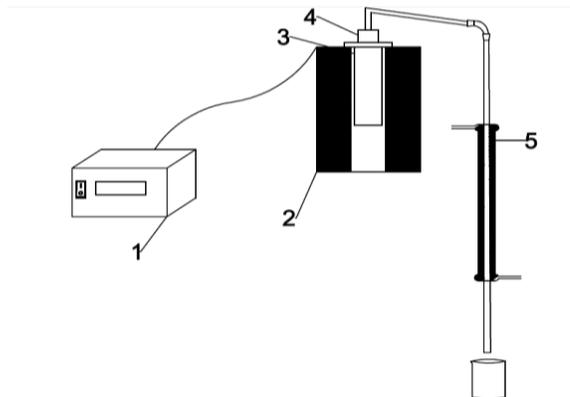
Abu vulkanik yang diambil merupakan abu yang telah jatuh dan tercampur dengan tanah dan pasir. Tanah dan pasir yang telah diambil dari Kali Kuning di keringkan dengan sinar matahari kemudian di saring dengan ukuran 100 mesh. Setelah kering pasir tersebut di masukan kedalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan kelarutan 1 M kemudian didiamkan selama 24 jam. Tujuannya adalah untuk membersihkan

pengotor pada permukaan pasir sehingga memiliki permukaan yang lebih luas.

2.6 Penelitian Utama

Alat pirolisis yang digunakan memiliki dua kolom yakni kolom besar dan kolom kecil. Kolom besar berfungsi untuk plastik yang akan dipirolisis, dan kolom kecil berfungsi untuk menempatkan katalis. Setelah semua dimasukkan, pasang kembali alat pirolisis. Debit yang digunakan untuk kondensor sebesar 2,86 ml/detik. Alat pirolisis dinyalakan pada suhu 500°C dan proses dihentikan sampai hasil pirolisis berhenti menetes.

Gambar 1 Alat Pirolisis



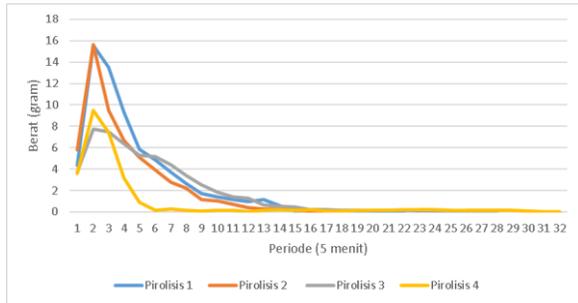
Keterangan:

1. *Digital Temperature Controller*
2. *Furnace*
3. Kolom pirolisis
4. Kolom katalis
5. Kondensor

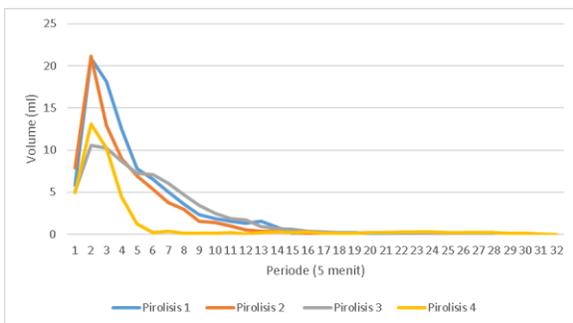
Kolom katalis menggunakan bahan *stainless steel* yang tahan panas dengan diameter 8 cm dan tinggi 25 cm. Sementara pada kolom katalis memiliki diameter 5 cm dan tinggi 6 cm. *Furnace* yang digunakan untuk memanaskan kolom pirolisis berbentuk tabung memiliki diameter total sebesar 30 cm dengan diameter rongga dalam sebesar 10 cm dan tinggi 40 cm.

3. Hasil dan Pembahasan

Menurut penelitian Serano (2012) dalam Ratnasari (2016) penggunaan kolom katalis memiliki banyak keuntungan dalam proses peretakan katalis (*catalyst cracking*). Penggunaan kolom katalis ini akan meningkatkan interaksi transfer massa.



Gambar 2 Perbandingan Berat Yang Dihasilkan Setiap Periode



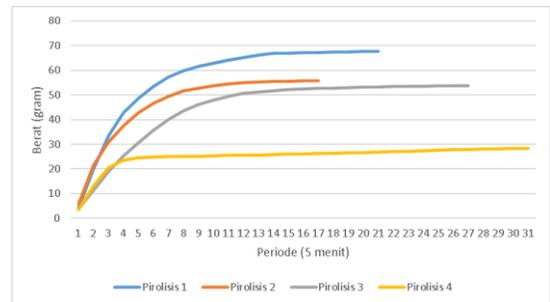
Gambar 3 Perbandingan Volume Yang Dihasilkan Setiap Periode

Akan tetapi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis dapat memberikan kuantitas yang lebih banyak pada saat pertama bereaksi di periode pertama. Hal tersebut terlihat lebih jelas jika hanya membandingkan antara pirolisis tanpa katalis dengan pirolisis dengan katalis 10 gram.

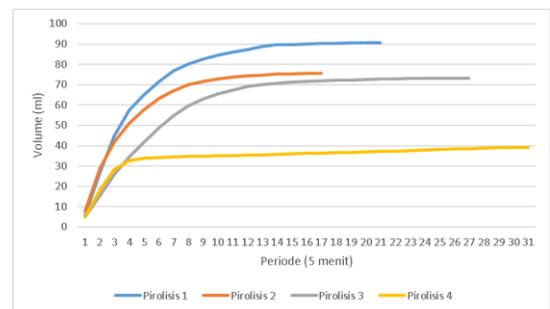
Pada gambar 2 dan 3 menunjukkan pirolisis 2 dengan katalis 10 gram mendapat berat dan volume awal lebih besar dari pada katalis 1 tanpa katalis. Sementara Pirolisis 3 dengan katalis 20 gram dan pirolisis 4 dengan katalis 30 gram mendapati berat dan volume yang lebih ringan dibandingkan dua pirolisis sebelumnya. Menurut Uddin (1997) penggunaan katalis akan meningkatkan kuantitasnya

karena peningkatan efisien pada proses pirolisis akan menghasilkan potongan rantai karbon yang lebih banyak. Akan tetapi pada penelitian ini katalis berada pada kolom yang berbeda pada objek yang dipirolisis sehingga katalis tidak ikut langsung dalam pemotongan rantai karbon. Selain itu variasi pada volume katalis menyebabkan banyak cairan akan terhambat sebelum akhirnya menetes melalui kondensor.

Pada penelitian ini mendapati perbandingan titik puncak yang cukup fluktuatif. Dapat dilihat pada gambar 2 dan 3 di mana semua proses pirolisis mengalami titik puncak pada periode ke dua atau 10 menit setelah pirolisis pertama menetes. Kondisi perbandingan pada titik puncak masih sama dengan pada periode pertama yaitu pirolisis 2 lebih tinggi dari pada pirolisis 1. Perbedaan pada kondisi sebelumnya adalah pirolisis 4 memiliki nilai puncak yang lebih tinggi dari pada pirolisis 3, namun cairan yang dihasilkan berikutnya jauh lebih sedikit dari pada pirolisis 3.



Gambar 4 Perbandingan Pertambahan Berat

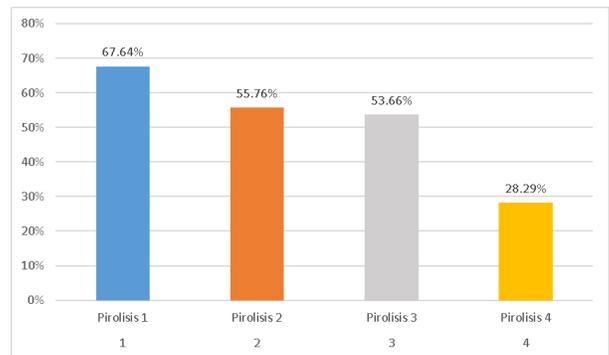


Gambar 5 Perbandingan Pertambahan Volume
Hasil akhir proses pirolisis ini adalah berupa berat cairan. Berat dan volume yang didapat semakin

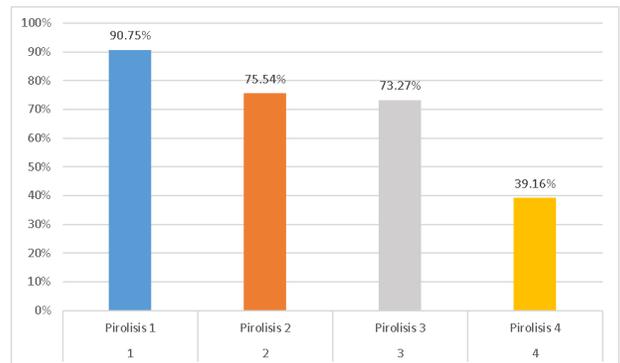
sedikit seiring dengan bertambahnya jumlah katalis. Pada gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa secara berurutan pirolisis 1 menghasilkan cairan hasil pirolisis paling banyak dan pirolisis 4 menghasilkan cairan hasil pirolisis paling sedikit. Akan tetapi jumlah menunjukkan bahwa pirolisis 2 mengalami proses yang lebih cepat dari pada pirolisis 1.

Secara umum semua variabel yang diterapkan pada proses pirolisis telah diterapkan untuk setiap proses. Penggunaan katalis 10 gram pada pirolisis 2 memberikan berat dan volume puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis 1 yang tidak menggunakan katalis. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan katalis dapat meningkatkan berat maupun volume minyak pirolisis yang dihasilkan. Akan tetapi dikarenakan adanya ketidaksesuaian volume kolom katalis dengan volume katalis pada pirolisis 3 dan 4 menyebabkan tekanan yang dibutuhkan oleh gas hasil pirolisis kurang kuat, alhasil minyak pirolisis tersumbat pada kolom katalis. Dengan demikian cairan pirolisis yang dihasilkan tidak sesuai teori karena banyak yang tertinggal di kolom katalis. Selain karena minyak pirolisis tersumbat di dalam kolom katalis, adanya perbedaan *trend* pada pirolisis 3 dan pirolisis 4 diperkirakan karena adanya perbedaan aktifitas pemotongan rantai karbon pada proses pirolisis yang menggunakan katalis.

Katalis dalam proses pirolisis berfungsi untuk memecah (*cracking*) rantai hidrokarbon yang panjang menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek (C_1-C_5) (Scheirs dan Kaminsky, 2006) dalam (Danarto 2010). Dalam penelitian oleh Xingzhong (2006) menjelaskan bahwa salah satu mekanisme yang terjadi adalah pemotongan rantai polimer secara acak sehingga akan sulit mengetahui sampai mana pemotongan tersebut terjadi.

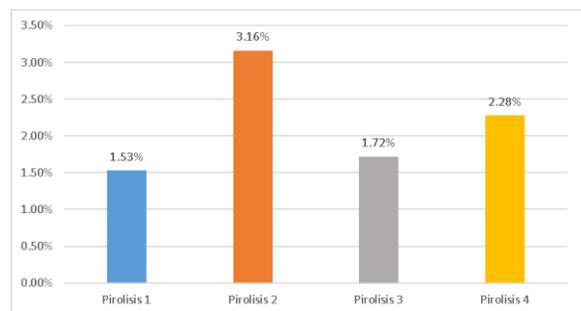


Gambar 6 Grafik Perbandingan Persentase Berat



Gambar 7 Grafik Perbandingan Persentase Volume

Dalam proses pirolisis akan menghasilkan tiga produk yaitu cairan, gas dan padatan dengan tujuan utama yang ingin didapat adalah berupa padatan. Selain cairan pada penelitian ini didapati berat padatan hasil pirolisis.



Gambar 8 Grafik Perbandingan Persentase Abu Hasil Pirolisis

Berat padatan yang didapat berupa serbuk abu. Pada penelitian ini tidak menghitung berat ataupun volume gas yang dihasilkan dalam proses pirolisis

sehingga dapat dianggap bahwa berat dan volume sisanya adalah berupa gas. Menurut analisis, hal ini terjadi karena pemotongan rantai katalis secara acak menyebabkan sulitnya mengetahui hasil apa yang akan didapat antara cairan atau pun gas. Cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan cairan hasil pirolisisnya adalah dengan menurunkan suhu pendingin atau meningkatkan debit pada kondensor sehingga sirkulasi air dapat menurunkan suhunya.

Pada penelitian ini akan membandingkan karakter utama hasil pirolisis dengan hasil pirolisis dari penelitian lain. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 1. Penelitian yang telah dilakukan oleh Rahman (2017) akan menjadi pembanding dengan penelitian ini. Penelitian yang dilakukan Rahman (2017) adalah mengenai pirolisis plastik *polypropylene* dengan menggunakan zeolit sebagai katalis.

Tabel 1 Perbandingan Karakter Hasil Pirolisis Dengan Karakter Bahan Bakar dan Penelitian Lain.

No	Bahan	Nilai Kalori (kal/gram)	Densitas (gram/cm ³)	Viskositas (cp)	Titik Nyala (°C)
1	Tanpa Katalis	9072.4709	0.7454	14.00	121.00
2	Katalis 10 gram	9132.2761	0.7382	11.00	117.67
3	Katalis 20 gram	9236.3418	0.7324	9.00	114.00
4	Katalis 30 gram	9307.1660	0.7223	8.33	112.00
5	Pirolisis PPZ ⁵⁾	10670.99	0.85	1.82	52
6	Bensin (<i>Gasoline</i>)	¹⁾ 11414.453	⁴⁾ 0.778-1.198	²⁾ 0.77-1.19	⁴⁾ -42.77
7	Solar	⁴⁾ 11106.3342	⁴⁾ 0.815-0.860	⁴⁾ 1.63-3.87	⁴⁾ 50
8	Biodiesel	³⁾ -	⁴⁾ 0.85-0.89	³⁾ 2.3-6	³⁾ >130

Sumber :¹⁾ Agariksa (2013), ²⁾ Wiratmadja (2010), ³⁾ SNI 7182:2015, dan ⁴⁾ Standar Bahan Bakar Pertamina, ⁵⁾ Rahman (2017)

Selanjutnya penelitian mengenai pirolisis *polypropylene* dengan katalis zeolit ini akan disingkat dengan PPZ (pirolisis *polypropylene* zeolit). Penelitian PPZ menghasilkan karakter cairan hasil pirolisis yang karakternya mendekati dengan karakter solar. Sementara pada penelitian ini mendapatkan nilai kalor yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya berat katalis yang digunakan akan tetapi semakin rendah nilai densitas, viskositas, dan titik nyalanya. Hasil analisis menunjukkan bahwa karakter yang didapat pada penelitian ini mendekati dengan karakter biodiesel. Nilai kalor dan viskositasnya semakin mendekati dengan nilai yang dimiliki biodiesel akan tetapi nilai densitas dan titik nyala semakin menjauh dengan nilai yang dimiliki biodiesel.

Berdasarkan kegiatan penelitian mengenai pirolisis untuk memenuhi tugas akhir, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan katalis abu vulkanik gunung Merapi cukup efektif dalam proses pirolisis sampah plastik bungkus mie instan yang dapat dilihat perbandingan antara pirolisis 1 dan pirolisis 2.
2. Hasil pirolisis mengalami peningkatan kualitas pada viskositas dan nilai kalor. Peningkatan yang dimaksud adalah semakin dekatnya nilai yang didapat dengan karakter biodiesel.
3. Kuantitas yang dihasilkan tidak sesuai dengan teori karena dengan menggunakan katalis kuantitas yang dihasilkan semakin sedikit.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

4.2 Saran

Berdasarkan proses dan hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk memperbaiki penelitian yang serupa pada masa yang akan datang. Berikut adalah saran yang diberikan:

1. Melakukan pencarian suhu optimum. Suhu optimum dapat dicari dengan cara melakukan pirolisis dengan variasi suhu yang berbeda. Jika suhu optimum didapatkan maka dapat meningkatkan hasil pirolisis yang didapat nantinya.
2. Memperbesar kolom katalis. Kolom katalis yang cukup luas tidak akan menghambat tekanan gas pirolisis untuk menuju kondensor. Hal ini juga mencegah terjadinya penumpukan sisa hasil pirolisis pada kolom katalis.
3. Meningkatkan debit air pada kondensor. Dengan meningkatnya debit pada kondensor maka suhu pada kondensor akan lebih stabil dalam mendinginkan gas hasil pirolisis. Hal tersebut bertujuan supaya perubahan gas menjadi cair di dalam kondensor lebih maksimal dan meningkatkan kuantitas dari pirolisis.

Daftar Pustaka

- Aguado, J. Serrano, D.P. 2007. *Feedstock recycling of plastic wastes*. Royal Society of Chemistry. Cambridge. UK.
- Azkha. 2006. *Analisis Timbulan, Komposisi dan Karakteristik Sampah di Kota Padang*. Jurnal Kesehatan Masyarakat. Vol 1 halaman 14-18.
- Budiyantoro, C. 2010. *Thermoplastik dalam Industri*. Teknika Media. Surakarta
- Buekens, A.G. Huang, H. 1998. *Catalytic plastics cracking for recovery of gasoline-range hydrocarbons from municipal plastic wastes*. Resources Conservation and Recycling. Vol 23 Page 163- 181.
- Das, S. 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
- Danarto, Y.C. 2010. *Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit*. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. 26 Januari. Yogyakarta.
- Firman, M. Arfi, Adharyandy. 2016. *Pirolisis Biomassa Kayu Pinus (Wood Pine) dengan Katalis Mo/Lempung Menjadi Bio-Oil*. Riau. Jurnal Online Mahasiswa FTEKNIK Volume 3, No. 1.
- Jonatan, Mieke. Hokliansyah. Hartono, Sandy Budi. Ismadji, Suryadi. 2003. *Pembuatan Katalis Dari Abu Terbang Untuk Pirolisis Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair*. Surabaya. Design and Application of Technology.
- Kumar S. Panda, A.K. Singh, R.K. 2011. *A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylene to Fuel*. Resources. Conservation and Recycling Vol. 55 Page 893– 910.
- Kusumastuti, E. 2012. *Pemanfaatan Abu Vulkanik Merapi Sebagai Geopolimer (Suatu Polimer Anorganik Aluminosilikat)*. Semarang. Universitas Negeri Semarang.
- Lopez, A. Marco, I. Caballero, B.M. Laresgoiti, M.F. Adrados, A. 2011. *Influence of Time and Temperatur on Pyrolysis of Plastic Waste in a Semi-Batch Reactor*. Chemical Engineering Journal 173 (2011) 62-71.
- Nugraha, Mahendra Fajri. 2013. *Pembuatan Fuel dari Liquid Hasil Pirolisis Polipropilen Melalui Proses Reforming Dengan Katalis NiO/T-Al₂O₃*. Surabaya. Jurnal Teknik POMITS. Vol.2, No.2.

- Rahman, M.T. Abdul. 2017. *Pengaruh Suhu dan Persen Katalis Zeolit Terhadap Yield Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene (PP)*. Riau. Jurnal Online Mahasiswa FTEKNIK Volume 4, No. 2.
- Ratnasari, Devy.K. Nahlil, A. Mohamad. Williams, Paul.T. 2016. *Catalytic pyrolysis of waste plastics using staged catalysis for production of gasoline range hydrocarbon oils*. United Kingdom. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 124 (2017) 631–637.
- Scheirs, J. and Kaminsky, W. 2006. *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*. New York. John Willey and Son, Ltd.
- Serano, D.P. Aguado, J. Escola, J.M. 2012. *Developing advanced catalysts for the conversion of polyolefinic waste plastics into fuels and chemicals*. ACS Catal. 2. 1924–1941.
- Sulastrisiti, Susila Kristianingrum. 2010. *Berbagai Macam Silika: Sintesis, Karakterisasi, dan Pemanfaatan*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA. FMIPA UNY.
- Surono, Untoro Budi. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Yogyakarta. Jurnal Teknik Vol 3. No. 1.
- Syamsiro, Mochamad. 2015. *Kajian Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik*. Yogyakarta. Universitas Janabadra.
- Uddin, M.A. Koizumi, K. Murata, K. Sakata, Y. 1997. *Thermal and catalytic degradation of structurally different types of polyethylene into fuel oil*. Polymer Degradation and Stability. Vol 56 Page 37-44.
- Xingzhong, Yuan. (2006). *Converting waste plastics into liquid fuel by pyrolysis: Developments in China*. in: J. Scheirs, W. Kaminsky (Eds.), Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics. John Wiley & Sons, West Sussex, UK. Page 729-75.