

Analisis Pembuatan Bahan Bakar dari Pirolisis Thermal dan Katalitik Limbah Plastik Low Density Polyethylene

Gunawan Budi Susilo* ,Trio Yonathan Teja Kusuma

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Jl. Laksda Adisucipto, Caturtunggal, Kabupaten Sleman

*Penulis korespondensi: gunawanbudisusilo@gmail.com

Histori artikel: diserahkan 2 Februari, direviu 20 Februari 2022, direvisi 18 Maret 2022

ABSTRACT

Increasing global warming due to the uncontrolled use of fossil fuels has resulted in climate change which is currently a worldwide concern. Various efforts to use alternative energy have been made to overcome these problems, one of which is Pyrolysis technology to convert solid plastic waste into liquid fuel. Pyrolysis is a heating process, or the working principle is the same as distilling a raw material particle that will change shape from a solid to a gas and then passing through a condenser tube to cool down so that the steam will turn into a liquid. This process generally takes place at temperatures between 500-800°C. The pyrolysis process occurs with the help of heating from LPG gas. From the data obtained, further testing can be carried out on the physical and chemical properties of the pyrolysis oil to determine its characteristics. The physical properties tested included density and viscosity, while the chemical properties tested were the calorific value of the plastic pyrolysis process. The next step is to test the pyrolysis oil using WBT (Water Boiling Test) to determine the performance of the oil stove with pyrolysis oil as fuel. From the results of the efficiency of the stove from the pyrolysis of plastic oil, it is known that the largest input energy (Q_{in}) is obtained in the pyrolysis oil without a catalyst in the first condenser of 2375,291 watts. The result of sensible heat (SH) of the most significant pyrolysis oil sample from pyrolysis without a catalyst in condenser one is 125.4 watts. The highest latent heat value was found in the pyrolysis of natural zeolite catalyst in condenser three at 231.752 watts, while the highest thermal efficiency value of pyrolysis using natural zeolite catalyst in condenser one was 28.39%. Natural zeolite catalysts reduce the liquid and solid products but increase gas products. The catalysts from pyrolysis oil have a darker color than without a catalyst. The cause is the reaction of the catalyst during the pyrolysis process

Keywords: *Calorific value, Density, LDPE plastic waste, Natural zeolite*

DOI : <https://doi.org/10.18196/jqt.v3i2.14141>

WEB : <https://journal.umy.ac.id/index.php/qt/article/view/14141>

PENDAHULUAN

Plastik LDPE (*Low Density Poly Ethylene*) adalah jenis termoplastik yang berasal dari minyak bumi. Plastik awalnya diproduksi oleh Imperial Chemical Industries (ICI) pada tahun 1933. Pada perkembangannya plastik merupakan bahan banyak digunakan di industri maupun peralatan rumah tangga. Pemakaian plastik dalam jumlah besar mengakibatkan masalah menumpuknya sampah, sampah plastik adalah sampah yang sukar diuraikan oleh mikroorganismenya. Plastik hingga saat ini merupakan bahan yang sangat

Dewasa ini plastik telah banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari plastik adalah material penting dalam membuat berbagai macam

aplikasi. Plastik digunakan untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari dari mulai produk kemasan makanan, elektronik, mainan, otomotif dan lainnya sehingga peranannya sulit tergantikan. Plastik banyak digunakan dikarenakan sifatnya yang ringan, kuat, mudah dibentuk serta tahan terhadap korosi, serta mudah pewarnaan. Oleh karena itu penggunaan plastik terus meningkat (Wardhana, 2014).

Plastik adalah bahan yang terdegradasi sangat lambat oleh bakteri pengurai di dalam tanah. Membakar plastik atau insenerasi dapat melepaskan gas yang beracun (dioksin) (Istadi, 2011). Plastik mempunyai jenis yang banyak, yang sering dijumpai diantaranya *Polyethylene Therephthalate* (PET), *Low Density Poly Ethylene*

(LDPE), *Poly Styrene* (PS), *High Density Poly Ethylene* (HDPE), *Poly Propylene* (HDPE), *Poly Vynil Chloride* (PVC). Daur ulang limbah plastik biasanya dilakukan dengan di bakar, tetapi pembakaran sampah plastik adalah cara yang tidak aman karena akan menyebabkan polutan dan emisi seperti CO₂, CO dll yang berbahaya bagi kehidupan dan dapat memicu pertumbuhan sel kanker apabila dalam jangka waktu yang lama (Surdia, 2015). Pirolisis adalah proses dekomposisi bahan pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa adanya oksigen. Pirolisis disebut juga devolatisasi (Surono, 2013).

Berdasarkan jenisnya pirolisis terbagi menjadi dua, yaitu pirolisis primer dan pirolisis skunder. Pirolisis primer adalah proses pembentukan arang yang terjadi pada suhu 150-300. Proses karbonisasi ini terjadi karena adanya energi panas yang mendorong terjadinya oksidasi sehingga suatu senyawa karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang. Pirolisis skunder adalah lanjutan perubahan karbonisasi lebih lanjut karbon monoksida, gas hidrogen dan gas-gas hidrokarbon (Juliastuti *et al.*, 2015).

METODE

Bahan

Bahan baku dalam penelitian ini adalah limbah plastik jenis LDPE. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis zeolite alam.

Alat Pengujian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ada dua sistem, yaitu untuk proses pirolisis dan uji Water Boiling Test (WBT). Alat-alat yang digunakan pada sistem pirolisis terdiri dari reactor tipe batch, pompa air akuarium, stopwatch, kondensor, timbangan. Alat uji Water Boiling Test menggunakan kompor bioethanol.

Metode Pengujian

Reaktor adalah tempat dimana terjadinya proses pirolisis limbah plastik LDPE dan Zeolit Alam. Limbah plastik yang di masukkan dalam tabung reaktor adalah bentuk cacahan atau potongan-potongan kecil. Dalam pengujian ini menggunakan gas LPG sebagai pemanas. Skema alat penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1. Data yang didapatkan

dari proses pengujian kemudian dilakukan uji fisis dan kimia untuk mengetahui karekeristik dari minyak pirolisis. Uji fisis diantaranya kekentalan atau viskositas dan densitas. Sedangkan uji kimia dengan nilai kalor. Kemudian setelah pengujian fisis dan kimia didapatkan langkah berikutnya adalah pengujian minyak menggunakan Water Boiling Test (WBT), Pengujian ini untuk mengetahui unjuk kerja dari minyak hasil proses pirolisis.



GAMBAR 1. Skema alat penelitian

Metode Water Boiling Test adalah pengujian performa kompor dengan cara mendidihkan air dalam panic untuk mengetahui jumlah energy yang dihasilkan. Dari bahan bakar yang dipindahkan ke dalam panic (Santoso *et al.*, 2010). Bahan yang digunakan dalam unjuk kerja WBT diantaranya Kompor ethanol, thermocouple, Timbangan dan Stopwatch. Prosedur dalam proses WBT dilakukan melalui beberapa tahapan proses diantaranya sebagai berikut:

- 1) Masukkan air ke dalam panci sebanyak 0,2 kg kemudian diukur temperaturnya.
- 2) Masukkan bahan bakar minyak pirolisis dari tabung kindensor pertama ke dalam kompor ethanol sebanyak 40 gram.
- 3) Menghidupkan kompor dan stopwatch secara bersamaan
- 4) Mencatat temperatur air dalam panci setiap 1 menit sekali
- 5) Mematikan kompor setelah air mendidih (98°C)
- 6) Menimbang massa air dan minyak, kemudian mengganti dan menunggu temperature kompor dan panic pada kondisi semula.
- 7) Ulangi langkah 1 – 6 dari hasil tabung kondensor kedua
- 8) Ulangi langkah 1 – 6 dari hasil tabung kondensor ketiga

HASIL DAN PEMBAHASAN

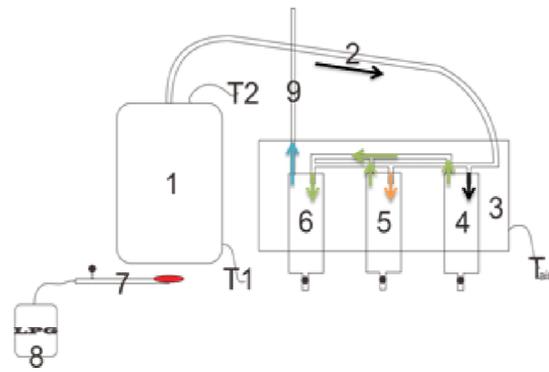
Minyak Pirolisis Limbah Plastik

Data penelitian menunjukkan bahwa proses pirolisis thermal dan katalitik plastik LDPE memberikan hasil yang cukup baik. Gambar 2 menunjukkan cairan hasil proses limbah plastik LDPE menggunakan katalis zeolite alam dan tanpa katalis. Dari enam sampel yang telah diperoleh terdapat perbedaan pada warna cairan. Penyebab perbedaan ini disebabkan karena berbedanya suhu gas hasil pirolisis yang masuk kedalam tabung kondensor pada saat proses destilasi berlangsung.



GAMBAR 2. Hasil Produk Pirolisis Plastik LDPE

Pada Gambar 3. Menjelaskan siklus cara kerja pirolisis menggunakan tiga tabung kondensor. Tanda panah berwarna hitam menunjukkan aliran gas pirolisis dari tabung reactor menuju tabung kondensor satu. Dimana gas yang memiliki massa jenis lebih berat akan terkondensasi ke tabung kondensor satu, sementara pada gas yang massa jenisnya lebih ringan akan menuju tabung kondensor dua yang ditunjukkan oleh tanda panah berwarna orange. Untuk gas yang masuk kedalam tabung kondensor tiga yaitu gas yang memiliki massa jenis lebih ringan dari massa jenis gas yang masuk ke tabung kondensor dua. Tanda panah yang berwarna hijau menunjukkan gas sisa yang telah melewati proses kondensasi dari tabung pertama dan kedua di distribusikan ke tabung kondensor ketiga untuk diproses kembali. Setelah melewati tiga kali proses kondensasi pada proses pirolisis masih menyisakan gas. Gas sisa yang sudah melewati proses kondensasi akan disalurkan ke pipa pembuangan dan ditunjukkan oleh tanda panah berwarna biru. Pada gas sisa tersebut mengandung gas metana, demi keamanan lingkungan tersebut harus dibakar, agar aroma gas metana tersebut tidak terlalu pekat dan mengurangi pencemaran udara.



GAMBAR 3. Siklus cara kerja destilasi menggunakan tiga tabung kondensor

Keterangan:

1. Tabung kondensor
2. Pipa Saluran gas menuju kondensor
3. Bak Air
4. Kondensor 1
5. Kondensor 2
6. Kondensor 3
7. Burner
8. LPG
9. Pipa pembuangan gas sisa

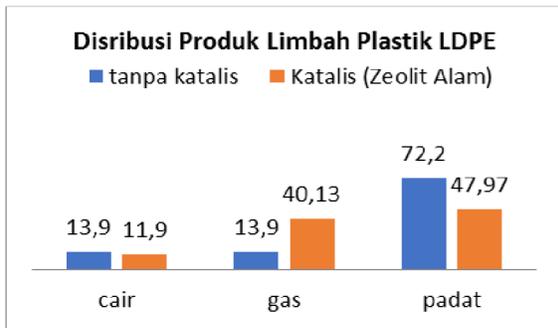
Selain Perbedaan warna, analisis berikutnya tentang distribusi produk yang dihasilkan yaitu: massa jenis cairan, nilai kalor yang terkandung dalam cairan dan uji Water Boiling Test.

1. Pirolisis Plastik LDP tanpa Katalis dan Menggunakan Katalis Zeolita Alam

Pada proses pirolisis plastic LDPE tanpa katalis menggunakan plastic sebanyak 2 kg, maka didapatkan data selama proses berlangsung yaitu gas yang mengalir ke dalam tabung kondensor pada suhu 209,3 pada menit ke 19,40. Sedangkan cairan mulai menetes pada suhu 268,7 dan menit ke 28,27. Pada proses pirolisis plastic LDPE menggunakan katalis didapatkan data bahwa gas yang mengalir ke dalam tabung kondensor pada suhu 189 dan pada menit ke-17. Sedangkan cairan mulai menetes pada suhu 241 dan menit ke 26,07. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses pirolisis baik menggunakan katalis maupun tanpa katalis membutuhkan waktu 180 menit, dikarenakan pada waktu menunjukkan menit ke-170 pembakaran gas sisa dan kepulan gas di dalam tabung kondensor sudah tidak ada lagi. Maka proses pirolisis dinyatakan selesai.

2. Distribusi produk Pirolisis (Cair, padat, gas)

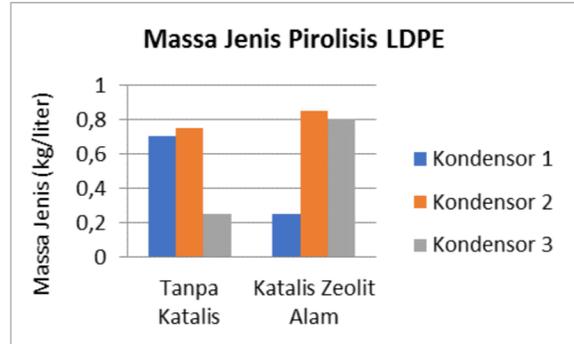
Hasil dari proses pirolisis untuk cair, gas, dan padat tersaji pada Gambar 4. Dari data tersebut menunjukkan pengaruh katalis terhadap distribusi produk. Penggunaan katalis menurunkan produk padat dan cair, tetapi meningkatkan persentase produk gas. Pirolisis katalitik mengakibatkan hidrokarbon rantai panjang terpecah menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek. Maka dari itu produk gas yang dihasilkan pada proses pirolisis menggunakan katalis menghasilkan jumlah gas yang lebih banyak dibandingkan dengan proses pirolisis tanpa katalis. Sedangkan pada cairan kedua hasil proses pirolisis menggunakan katalis dan tanpa katalis memiliki hasil yang lebih sedikit dibandingkan dengan produk hasil gas dan padatan, hal ini disebabkan oleh cara kerja pada tabung kodensor kurang efektif. Kurang efektifnya dari ketiga tabung kondensor tersebut dipengaruhi dari rangkaian tabung kondensor dan temperature pendingin (air) kurang.



GAMBAR 4. Distribusi Produk Limbah Plastik LDPE

3. Massa Jenis

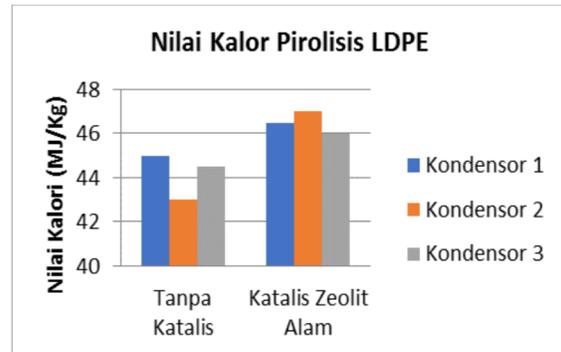
Gambar 5 menginformasikan massa jenis hasil pirolisis LDPE. Massa jenis minyak pirolisis berkisar antara 0,25 – 0,85 kg/liter. Massa jenis tertinggi dihasilkan dari proses pirolisis limbah plastik LDPE menggunakan zeolite alam pada kondensor 2 yaitu 0,85 kg/liter. Sedangkan massa jenis terendah didapatkan dari hasil proses pirolisis tanpa katalis pada kondensor ketiga dan proses pirolisis menggunakan katalis pada kondensor pertama yaitu 0,25 kg/liter. Nilai massa jenis dari minyak pirolisis rata-rata 0,59 kg/liter.



GAMBAR 5. Massa Jenis Pirolisis LDPE

4. Nilai Kalor

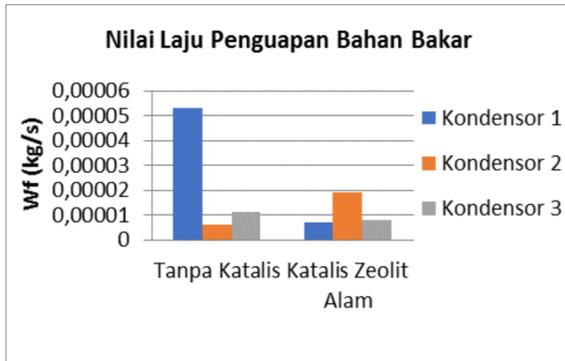
Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian pirolisis limbah plastik LDPE dengan nilai kalor minyak pirolisis cukup tinggi. Nilai kalor minyak pirolisis tanpa katalis yang dihasilkan adalah 44,16 MJ/Kg, sedangkan menggunakan katalis 46,5 MJ/Kg. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perbedaan jenis proses mempengaruhi nilai kalor, hal ini disebabkan karena unsur proses pirolisis tanpa katalis dan dengan katalis berbeda.



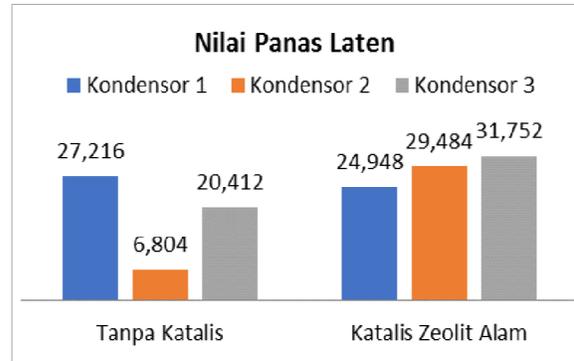
GAMBAR 6. Nilai Kalor Pirolisis LDPE

5. Pengujian Efisiensi Kompor dengan Bahan Bakar Minyak Pirolisis

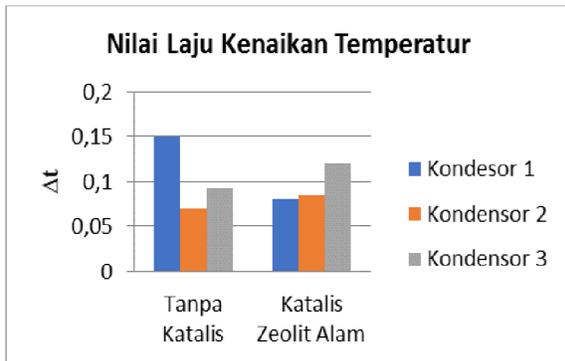
Uji coba Sampel minyak pirolisis yang digunakan adalah minyak hasil pirolisis plastik LDPE dari tiga tabung kondensor. Pada WBT ini menggunakan air sebanyak 0,5 kg dan bahan bakar sebanyak 0,4 kg. Air dipanaskan dengan temperature awal 26°C hingga pada suhu 98 °C. Laju penguapan bahan bakar ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan, nilai laju kenaikan temperatur ditunjukkan pada Gambar 8.



GAMBAR 7. Nilai Laju Penguapan Bahan Bakar

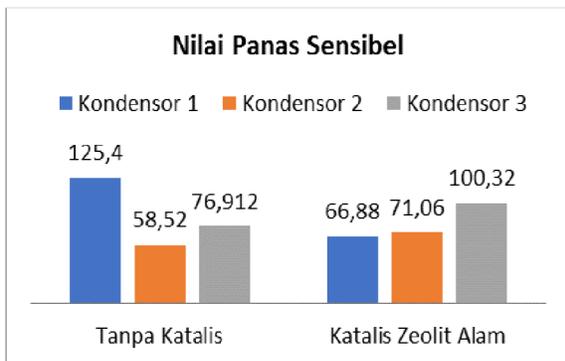


GAMBAR 10. Nilai Panas Laten



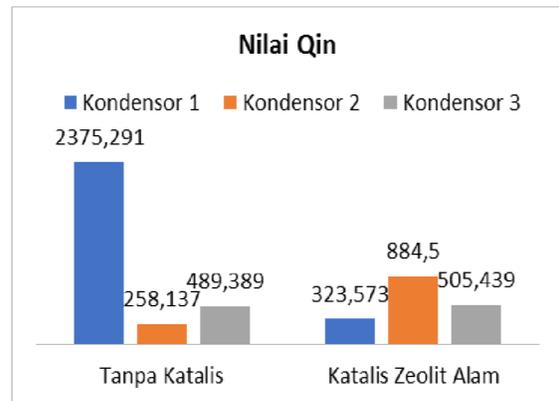
GAMBAR 8. Nilai Laju Kenaikan Temperatur

Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian minyak pirolisis menggunakan katalis mengandung nilai panas laten tertinggi pada kondensor 3 yaitu 31,752 watt, sedangkan nilai panas laten terendah terdapat pada hasil proses pirolisis tanpa katalis kondensor kedua yaitu 6,804 watt. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penggunaan katalis mempengaruhi nilai kalor minyak pirolisis.

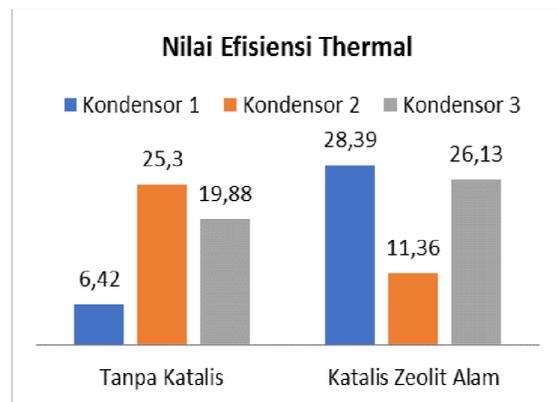


GAMBAR 9. Nilai Panas Sensibel

Hasil Pengujian (Gambar 9) menunjukkan bahwa minyak pirolisis tanpa katalis mengandung nilai sensible tertinggi pada kondensor 1 sebesar 125,4 watt dan terendah pada kondensor 2 sebesar 58,2 watt. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penggunaan katalis mempengaruhi nilai kalor minyak hasil pirolisis, walaupun katalis tidak ikut bereaksi, namun katalis berperan dalam proses pemecahan ikatan atom C dan H, jumlah struktur dan komposisi atom C dan H menentukan besarnya nilai kalor minyak hasil pirolisis.



GAMBAR 11. Nilai Qin



GAMBAR 12. Nilai Efisiensi Thermal

Hasil perhitungan efisiensi kompor (Gambar 11) dari pirolisis minyak plastik diketahui bahwa hasil energi input terbesar pada minyak pirolisis tanpa katalis pada kondensor pertama sebesar 2375,291 watt. Hasil dari nilai panas sensible (SH) sampel minyak pirolisis terbesar dari pirolisis tanpa katalis di kondensor pertama yaitu 125,4 watt. Nilai panas laten terbesar didapatkan pada pirolisis katalis zeolite alam di kondensor tiga sebesar 231,752 watt, sedangkan nilai efisiensi thermal yang ditunjukkan pada Gambar 12 diperoleh efisiensi tertinggi pirolisis menggunakan katalis zeolite alam pada kondensor satu sebesar 28,39%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kombinasi pirolisis thermal dan katalitik dapat digunakan untuk mengubah limbah plastik menjadi bahan bakar.
2. Penggunaan katalis zeolite alam menurunkan produk cair dan padat namun meningkatkan produk gas, penggunaan katalis hasil minyak pirolisis memiliki warna yang lebih pekat dari tanpa katalis penyebabnya adalah bereaksinya katalis saat proses pirolisis.
3. Nilai massa jenis bahan bakar dari kondensor dua dan tiga pada pirolisis dengan katalis memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan hasil tanpa katalis.
4. Nilai bahan bakar dari kondensor satu, dua dan tiga pada pirolisis dengan katalis lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis tanpa katalis.

DAFTAR PUSTAKA

- Istadi. 2011. *Teknologi Katalis untuk Konversi Energi: Fundamental dan Aplikasi*, Graha Ilmu: Yogyakarta
- Juliastuti, S.R., Hendrianie, Nuniek., Febrianto, Arief., Ramadhika, D. Dinar. 2015. *Pengolahan Limbah Plastik Kemasan Multilayer LDPE dengan Menggunakan Metode Pirolisis Microwave*. Seminar Nasional Teknik Kimia. ISSN1693-4303. Yogyakarta.
- Santoso, Joko. 2010. *Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis dari Sampah Plastik*. Skripsi Teknik Mesin. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Surdia. T., & Saito. S. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Surono, Untoro Budi. 2013. *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. Jurnal Teknik. April 2013. Vol 3. Nomor 1. Universitas Janabadra. Yogyakarta.
- Wardhana, Bhisma Prabuditya Wisnu Wardhana. 2014. *Studi Eksperimental Pembuatan Bahan Bakar Dari Limbah Plastik LDPE dengan Proses Pirolisis Termal dan Katalitik (Zeolit Alam & Y) Serta Uji Performasi Mesin Diesel*. Tesis Sarjana S2, Univeritas Gadjah Mada. Yogyakarta.