

PENGARUH VARIASI SUDUT ORIENTASI KONDENSOR (0° , 15° , 30°) PADA PIROLISATOR SAMPAH PLASTIK LDPE DENGAN DEBIT AIR PENDINGIN KONDENSOR 12 LPM

Andika Adikresna

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Email : addikresna@gmail.com

INTISARI

Kuantitas sampah plastik di dunia setiap harinya semakin bertambah, selain itu cadangan bahan bakar minyak semakin menipis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendaur ulang sampah plastik dengan efisien dengan cara pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya.

Penelitian ini menggunakan 3 kg sampah plastik LDPE sebagai bahan baku pirolisis, kompor gas sebagai pemanasnya, dan air sebagai media penukar kalor, serta menggunakan debit air kondensor 12 LPM. Variasi yang dipakai pada percobaan ini adalah sudut kemiringan kondensor yaitu 0° , 15° , dan 30° .

Dari percobaan yang telah dilakukan, didapatkan hasil yaitu untuk sudut 0° menghasilkan minyak dengan volume 500 ml dan abu sisa pirolisis seberat 315 gram. Untuk sudut 15° menghasilkan minyak dengan volume 500 ml dan abu sisa pirolisis 167 gram. Sedangkan untuk sudut 30° menghasilkan minyak dengan volume 550 ml dan abu sisa pembakaran seberat 335 gram. Dari hasil yang didapat maka bisa disimpulkan bahwa sudut yang paling optimal untuk pirolisis sampah plastik LDPE dengan debit 12 LPM adalah sudut 15° , dengan presentase selisih minyak dengan abu adalah 29,1%. Minyak pirolisis sampah plastik LDPE dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena memiliki nilai kalor yang tidak jauh beda. Nilai perpindahan kalor yang terbesar terjadi pada sudut 15° dengan nilai perpindahan kalor 3131,129 Watt. Untuk nilai perpindahan kalor terendah terjadi pada sudut 30° dengan nilai perpindahan kalor 1862,926 Watt.

Kata kunci: Pirolisis, sampah plastik LDPE, sudut kemiringan kondensor

1. PENDAHULUAN

Pada era modern ini, banyak manusia yang berpikir praktis dan efisien untuk memudahkan segala aktifitasnya tanpa memikirkan dampak negative bagi lingkungan di waktu mendatang. Salah satu benda yang dapat memudahkan manusia dalam beraktifitas adalah plastik. Karena plastik merupakan bahan yang kuat dan tidak mudah rusak oleh pelapukan.

Penguraian sampah plastik di alam memerlukan waktu yang relatif sangat lama tergantung pada keadaan lingkungan maupun struktur kimia polimer limbah plastik, sedangkan produksi sampah plastik Indonesia mencapai 175.000 ton per hari, hal ini tentu akan menimbulkan masalah serius bagi lingkungan, baik untuk generasi sekarang bahkan untuk generasi yang akan datang. (Gnanavel et al. 2014). Sebenarnya sampah plastik juga bisa didaur ulang menjadi kerajinan yang dapat memberikan nilai ekonomi pada sampah plastik itu. Akan tetapi tidak semua

jenis plastik bisa didaur ulang menjadi kerajinan. Oleh sebab itu perlu ada kajian mendalam untuk pengolahan sampah plastik ini agar bisa didaur ulang dengan cara yang lebih efisien. Para ilmuwan telah mengembangkan alat yang bernama pirolisis plastik. Alat tersebut dari yang awalnya hanya untuk mengolah sampah plastik saja sekarang alat tersebut bisa dijadikan alat pembuat asap cair pengawet makanan dan dapat juga dijadikan alat daur ulang pemanfaatan sampah ban bekas yang telah tidak terpakai. Akan tetapi penelitian-penelitian sebelumnya tidak ramah lingkungan, dalam artian tidak ramah lingkungan ini yaitu alat tersebut hanya dimanfaatkan untuk semua jenis plastik

Melihat dari pengalaman tersebut penelitian yang akan dikembangkan akan lebih terspesifikasi lagi agar dapat memaksimalkan mengolah sampah plastik. Metode pirolisis yang akan dikembangkan ini hanya dimanfaatkan untuk pengolahan sampah limbah plastik LDPE atau biasa disebut plastik kresek. Karena sampah plastik kresek akan sulit terdaur ulang dan sepertinya hanya dapat diolah kembali melalui proses pirolisis plastik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Endang dkk, (2016) melakukan penelitian pirolisis dengan bahan baku LDPE dan PP dengan penambahan pasir silika 5cm pada dasar reaktor dan katalis zeloit ditambahkan pada bagian atas reaktor setinggi 10 cm serta menggunakan variasi suhu 400°C, 350°C, 300°C, serta 250°C. Setelah itu dilakukan pengujian densitas, viskositas, dan kalori. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini bahwa pirolisis terbanyak dari sampah PP diperoleh pada suhu 400°C sedangkan sampah LDPE pada suhu 300°C. Minyak hasil pirolisis dari PP dan LDPE dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena nilai kalornya tidak jauh beda dengan solar.

Wardhana, (2016) melakukan penelitian pirolisis untuk merubah limbah plastik polietilen menjadi bahan bakar dan mengetahui *properties* dari bahan bakar cair tersebut. Penelitian dilakukan dengan mempersiapkan bahan baku yaitu limbah plastik polietilen yang telah dicacah. Langkah selanjutnya adalah menimbang massa limbah plastik tersebut sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Massa limbah plastik kemudian dicatat untuk pengolahan data. Setelah limbah plastik atau *feedstock* tersebut dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian reaktor dinyalakan.

Produk pirolisis limbah plastik polietilen kemudian dianalisis untuk melihat kesetimbangan massa dan karakteristik dari produk cair yang dihasilkan. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran efektivitas proses konversi limbah plastik hingga menjadi produk bahan bakar yang berguna. Proses pirolisis pada temperatur 450°C menghasilkan 61% bahan bakar cair, 27% bahan bakar gas dan 12% bahan bakar padat berbasis massa. Nilai persentase bahan bakar tergantung dari jenis reaktor, desain reaktor, temperatur, jumlah aliran nitrogen, dan *residence time* yang digunakan. Karakteristik bahan bakar cair menunjukkan kualitas yang tidak jauh berbeda dibandingkan dengan bahan bakar biosolar sebagai bahan bakar pembanding.

Susilo, (2016) melakukan penelitian pirolisis dengan bahan baku sampah plastik LDPE, PS, dan *Other* dengan metode pencampuran antara PE 50% + PS 50%, PE 50% + PS 25% + *Other* 25%, dan PE 50% + *Other* 50%. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan persentase produk cair pirolisis tertinggi dihasilkan oleh campuran PE 50% + PS 50% yaitu sebesar 52,36%, sedangkan persentase terendah adalah campuran PE 50% + *Other* 50% sebesar 43,41%. Penambahan plastik jenis *Polystyrene* mengakibatkan peningkatan presentase produk cair, semakin tinggi persentase plastik *Polystyrene* maka persentase produk cair yang dihasilkan semakin tinggi. Penambahan plastik jenis *other* mengakibatkan penurunan pada persentase produk cair.

Karakteristik bahan bakar produk cair pirolisis untuk *specific gravity*, dan *water content* lebih tinggi dari pada biosolar. Nilai *kinematic viscosity*, *flash point* dan *ash content* lebih rendah dari biosolar. *Pour point* untuk campuran PE 50% + PS 25% + *Other* 25% setara dengan biosolar (6°C), campuran PE 50% dan PS 50% (-12°C) lebih rendah dari biosolar dan PE 50% + *Other* 50% (12°C) lebih tinggi dari biosolar.

3. METODE PENELITIAN

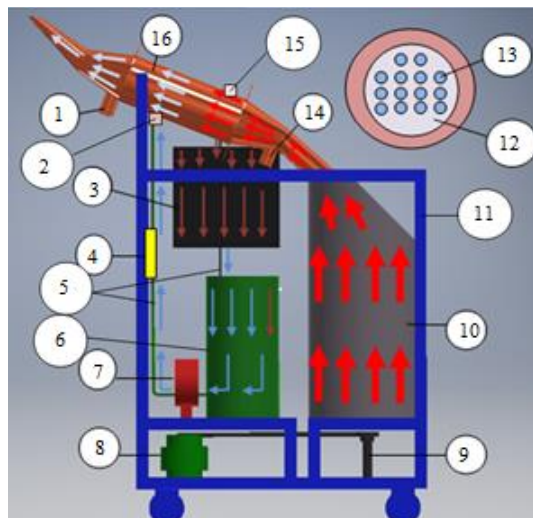
Penelitian menggunakan bahan plastik jenis LDPE yang telah dipotong-potong dengan dimensi 5x5 cm yang sudah dicuci dan dikeringkan.



Gambar 1. Bahan baku plastik jenis LDPE

Dalam penelitian bahan yang digunakan adalah plastik jenis LDPE yang telah dipotong-potong (gambar 1). Proses pembakaran menggunakan kompor berbahan bakar gas LPG dengan suhu pembakaran sebesar 300°C-350°C selama 100 menit. Air pendingin pada kondensor menggunakan debit sebesar 12 LPM selama proses pirolisis. Alat pirolisis dilengkapi dengan kondensor yang sudut kemiringannya bisa diatur yaitu 0°, 15°, dan 30° untuk mengetahui hasil pirolisis yang optimal. Asap cair (minyak plastik) hasil pirolisis selanjutnya dilakukan uji karakteristiknya untuk mengetahui nilai densitas, viskositas, nilai kalor dan *flash point*.





Instalasi peralatan untuk proses pirolisis dirancang seperti tampak pada Gambar 2.



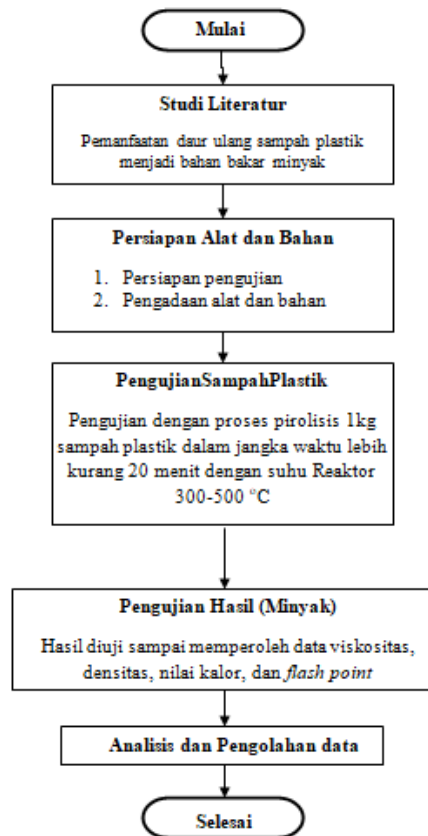
Gambar 2. Sketsa alat pirolisis

Keterangan gambar :

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. Lubang keluar minyak 1 | 10. Tabung reaktor |
| 2. <i>Inlet</i> air kondensor | 11. Rangka |
| 3. <i>Radiator</i> | 12. Bagian dalam kondensor |
| 4. <i>Flowmeter</i> | 13. Pipa tembaga Ø3/8" (14 pipa) |
| 5. Pipa air | 14. Lubang keluar minyak 2 |
| 6. Penampung air pendingin | 15. <i>Outlet</i> air kondensor |
| 7. Pompa air | 16. Kondensor |
| 8. Tabung gas LPG | |
| 9. Kompor gas | |
| 10. Keterangan: | |

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|--------------|
|  | : Asap panas |  | : Air dingin |
|  | : Asap yang tidak terkondensasi |  | : Air Panas |

3.1 PROSES PENELITIAN



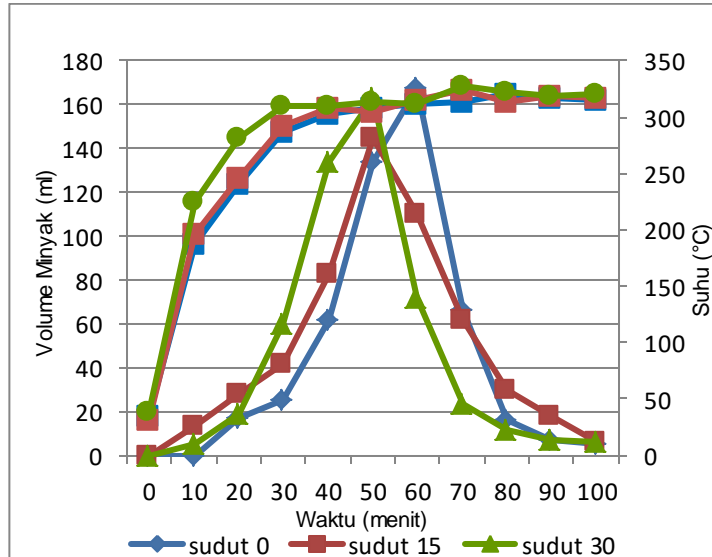
Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Korelasi Waktu Terhadap Hasil Minyak dan Suhu Reaktor

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terbentuklah hubungan antara lama waktu yang terlaksana dengan hasil minyak yang didapatkan serta suhu pada reaktor. Hasil penelitian hubungan antara waktu dengan hasil minyak yang

didapatkan serta suhu pada reaktor saat pengujian pirolisis sampah plastik akan dijelaskan dalam grafik berikut :



Gambar 4. Grafik Korelasi Waktu Dengan Hasil Minyak Serta Suhu Pada Reaktor Saat Pengujian

Grafik tersebut merupakan hasil dari data yang telah terkalibrasi. Dilihat dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada sudut 0° , 15° , dan 30° produksi minyak dari menit ke-0 mengalami kenaikan terus menerus hingga puncaknya pada menit 50-60. Untuk sudut 0° menghasilkan minyak terbanyak sebanyak 168 ml pada menit ke-60, pada sudut 15° menghasilkan minyak terbanyak sebanyak 145 ml pada menit ke-50, sedangkan pada sudut 30° menghasilkan minyak terbanyak sebanyak 163 ml pada menit ke-50. Setelah menit ke-60, produksi minyak mengalami penurunan karena palstik LDPE yang didalam reaktor mulai menjadi abu, hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1, tabel 4.2, dan tabel 4.3. Minyak pirolisis berhenti menetes pada menit ke-100. Tidak semua asap hasil memanggang plastik dalam reaktor dapat terkondensasi sempurna, asap yang tidak dapat terkondensasi keluar melalui lubang pembuangan. Penelitian ini dilakukan di ruang terbuka sehingga suhu awal dari reaktor adalah 30°C , tetapi proses pirolisis membutuhkan suhu 300°C – 500°C . Gambar 4.1 menunjukkan grafik kenaikan suhu dari suhu awal 30°C hingga suhu tertinggi 327°C . Saat pirolisis berlangsung, suhu reaktor mengalami naik turun (gambar 4), hal ini disebabkan oleh tekanan angin dari lingkungan sekitar karena reaktor tidak terisolasi sempurna. Suhu reaktor pada setiap variasi sudut kondensor mengalami perbedaan, hal tersebut dikarenakan perbedaan waktu penelitian dan cuaca saat penelitian karena penelitian dilakukan diruang terbuka.

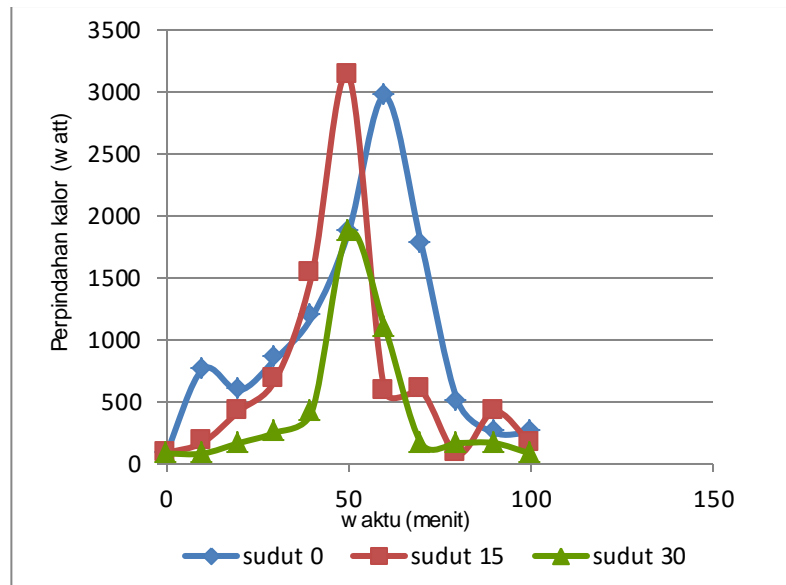
4.2 Korelasi Waktu Terhadap Laju Perpindahan Panas

Nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor akan dihitung berdasarkan hasil pengamatan dalam penelitian ini dan kemudian akan dikorelasikan dengan hasil minyak yang diperoleh dalam setiap proses kondensasi. Dalam penelitian ini laju transfer panas hanya dihitung dari proses transfer energi panas yang diterima oleh air pendingin. Laju perpindahan panas *parallel flow*:

$$q = \dot{m}_c c_c (T_{c4} - T_{c3})$$

Dimana :

- \dot{m}_c = Laju masa fluida (kg/s) untuk debit 12 liter / menit = 0,2 kg/s
- c_c = Kalor jenis air (4180 kg/ J °C)
- T_{c3} = Suhu masuk fluida pendingin
- T_{c4} = Suhu keluar fluida pendingin



Gambar 5. Grafik Korelasi Waktu Terhadap Nilai Laju Perpindahan Panas

Sesuai dengan teori rumus yang telah ada maka didapatkan gambar 4.2, dan menunjukkan bahwa nilai laju perpindahan panas tertinggi terjadi pada sudut 15° yaitu sebesar 3131,1293 watt dan nilai laju perpindahan panas terendah terjadi pada sudut 30° yaitu sebesar 1862,926 watt. Dengan sudut yang ada sangat berpengaruh terhadap terbentuknya korelasi (gambar 5). untuk mendinginkan atau mengkondensasikan asap sehingga dapat menjadi cairan minyak yang maksimal.

Naik turunnya nilai perpindahan kalor dapat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Dimana percobaan di siang hari akan mendapatkan hasil yang berbeda dengan percobaan di malam hari. Hal tersebut dikarenakan kondensor pada alat ini tidak diselimuti oleh isolasi sehingga suhu lingkungan sangat berpengaruh.

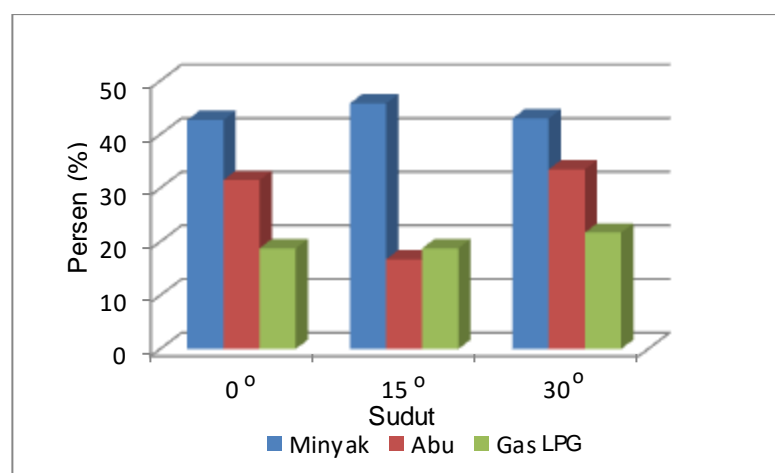
4.3. Korelasi Hasil Minyak dan Sisa Abu Terhadap Bahan Pada Sudut Pengujian

Data yang dapat diambil yaitu hasil minyak minyak yang telah terukur dan sisa plastik yang menjadi abu (tabel 1).

Tabel 1. Presentase Hasil Minyak Dan Sisa Abu

Sudut (derajat)	Minyak (gram)	Abu (gram)	Plastik (gram)	Persentase minyak (%)	Persentase abu (%)	Selisih minyak & abu (%)
0	427	315	1000	42,7	31,5	11,2
15	458	167	1000	45,8	16,7	29,1
30	430	335	1000	43,0	33,5	9,5

Dari Tabel 1 dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat korelasi antara hasil minyak dengan sisa abu yang didapatkan dalam bahan 1 kg plastik LDPE. Apabila minyak yang didapatkan dalam satu percobaan mempunyai volume yang banyak maka abu yang tersisa akan sedikit, dan apabila minyak yang dihasilkan semakin sedikit maka sisa abu yang didapatkan akan semakin banyak. Maka dapat dilihat pada tabel 4.4, dengan kemiringan sudut kondensor 15° menghasilkan persentase minyak 45,8% dan abu sebanyak 16,7% dari plastik seberat 1000 gram. Sedangkan sudut kemiringan kondensor 30° menghasilkan persentase minyak 43% dan abu sebanyak 33,5% dari plastik sebanyak 1000 gram. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sudut kemiringan kondensor yang paling optimal untuk pirolisis dengan debit 12 lpm adalah sudut 15° , karena sudut 15° memiliki selisih antara minyak dan abu paling besar yaitu 20,8%.



Gambar 6. Grafik persentase hasil minyak, abu, dan gas yang terpakai

Setelah melakukan percobaan didapatkan hasil persentase antara minyak, abu, dan gas LPG yang terpakai (gambar 6). Dilihat dari Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa sudut kemiringan kondensor yang paling optimal untuk pirolisis dengan debit 12 LPM adalah sudut 15° . Karena pada sudut 15° menghasilkan minyak sebanyak 45,8 % dan abu sebanyak 16,7 % sehingga selisih diantara minyak dan abu sebanyak 29,1 % (tabel 1).

4.4 Karakteristik Hasil Minyak

Minyak hasil percobaan pirolisis plastik mempunyai beberapa karakteristik untuk mengetahui sifat dari bahan bakar cair tersebut seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan dengan minyak lain

No.	Karakteristik	Minyak pirolisis plastik	Minyak tanah	solar	Premium	Sumber
1	Viskositas (mm^2/s)	3,0-3,2	1,4	1,6-5,8	0,7	Ramadhan, 2013
2	Nilai Kalor (Cal/g)	10727,6-10836,8	10955,7	10861,4	11297,4	Surono, 2013
3	Densitas (g/ml)	0,8	0,9	0,8	0,7	Pertamina, 2016
4	Flash Point ($^\circ\text{C}$)	32,2	60,2	50,0	43,0	

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa minyak pirolisis plastik LDPE bisa digunakan sebagai bahan bakar minyak alternatif karena memiliki slisih nilai kalor yang tidak jauh beda dengan minyak tanah, solar, dan premium.

4.5 Perbandingan Dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya yang menjadi bahan perbandingan yaitu penelitian Kadir (2015) dengan judul "*Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair*". Penelitian ini dilakukan dengan bahan baku plastik PP (Polypropilene) seberat 500 gram menggunakan suhu pemanasan 300°C dengan lama waktu pirolisis 930 detik (15,5 menit), menghabiskan bahan bakar 400 mililiter dan sudut kemiringan kondensor 0° menghasilkan minyak dengan volume 450 mililiter.

Minyak hasil pirolisis yang dilakukan oleh kadir (2015) lebih banyak, karena berbeda jenis plastik dan berbeda alat penelitian. Kedua faktor itu bisa mempengaruhi volume minyak hasil pirolisis.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Pada percobaan pirolisis plastik LDPE sebanyak 1 kg dengan debit air pendingin 12 LPM dan sudut kemiringan kondensor 0° serta suhu reaktor 300°C-350°C menghasilkan minyak plastik sebanyak 500 ml, percobaan dengan sudut kemiringan kondensor 15° menghasilkan minyak plastik sebanyak 537 ml, dan percobaan dengan sudut kemiringan kondensor 30° menghasilkan minyak plastik sebanyak 500 ml.
2. Persentase hasil minyak tertinggi didapat pada percobaan dengan sudut 15° sebesar 45,8% minyak dan 16,7% abu dengan selisih antara abu dan minyak sebesar 29,1%. Sedangkan pada percobaan 0° mendapatkan 42,7% minyak dan 31,5% abu dengan selisih antara abu dan minyak sebesar 11,2%. Serta pada percobaan 30° mendapatkan 43% minyak dan 33,5% abu dengan selisih antara abu dan minyak sebesar 9,5%.
3. Pada percobaan sudut 0° terjadi perpindahan kalor tertinggi pada menit ke-60 yaitu 2963,75 Watt, sedangkan pada percobaan 15° terjadi perpindahan kalor tertinggi pada menit ke-50 yaitu 3131,13 Watt dan pada percobaan 30° terjadi perpindahan kalor tertinggi pada menit ke-50 yaitu 1862,93 Watt.
4. Sudut kemiringan kondensor yang paling optimal untuk pirolisis dengan debit 12 lpm adalah sudut 15°, karena sudut 15° memiliki selisih antara minyak dan abu paling besar yaitu 29,1%.
5. Minyak pirolisis plastik LDPE bisa digunakan sebagai bahan bakar minyak alternatif karena memiliki slisih nilai kalor yang tidak jauh beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A, 2003. *Heat Transfer a Practical Approach*. New York: Mc Graw Hill
- Ermawati, Rahyani. 2011. *Konversi limbah plastik sebagai sumber energi alternatif*. Jurnal Riset Industri Vol. V, No.3, hal. 257-263.
- Endang dkk. 2016. *Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak*. Prosding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". Hal. 16-2 dan 16-5.
- Gnanavel et al. 2014. *Degradation of Polyetilane In The Natural Environment*. Coimbatore Institute of Technology: Tamil Nadu.
- Hamid, Rusdianto dkk. 2016. *Penanganan Limbah Plastik Dengan Teknologi Pirolisis Dan Biodegradasi Dengan Bakteri Pesudomonas sp*. Jurnal Tugas Akhir.
- Hasanah, Uswatun.2014. *Flash Point Tester(Alat Pengukur Nyala Api)*. <https://digital-meter-indonesia.com/flash-point-tester-alat-pengukur-titik-nyala-api/>. (Diakses tanggal 2 Agustus 2017 pukul 13.09 WIB)
- Holman, J. P, 1988. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- InformasiTips, 2017. *Memahami Arti Simbol Pada Kemasan Plastik*. <http://informatips.com/memahami-arti-simbol-pada-kemasan-plastik>. (Diakses tanggal 17 Agustus 2017 pukul 22.07 WIB)
- Kadir, 2012. *Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 3 No. 2.
- KantinIlmu, 2017. *Pengertian dan macam-macam plastik*. <https://kantinilmu.id/pengertian-dan-macam-macam-plastik/>. (Diakses tanggal 17 Agustus 2017 pukul 21.37 WIB)
- Kumar S., Panda, A.K., dan Singh, R.K., 2011, *A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylene to Fuel*, Resources, Conservation and Recycling Vol. 55 893– 910
- Pertamina, 2016. *Spesifikasi solar atau Biosolar*. Jakarta: Pertamina
- Prasetyo, Hendra dkk, 2013. *Mesin pengolah limbah plastik menjadi bahan bakar alternatif*. Universitas Negeri Semarang: Semarang, Jawa Tengah
- Rachmawati, Qonita dan Herumurti, Welly, 2015. *Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik*. Jurnal Teknik ITS Vol. 4 No. 1
- Ramadhan, A., dan Ali, M., 2013. *Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis*, Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 4 No. 1.
- Rumushitung, 2013. *Rumus mencari Densitas (massa jenis)*. <http://rumushitung.com/2013/08/09/rumus-mencari-densitas-massa-jenis/>. (Diakses Tanggal 18 Agustus 2017 pukul 01.36 WIB)

- Surono, Budi Untoro, 2013. *Berbagai metode konversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Janabadra: Yogyakarta.
- Susilo, Gunawan Budi, 2016. *Pembuatan bahan bakar dari pirolisis limbah plastik jenis polietilen, polistiren dan other*. Jurnal Teknologi Technoscientia Vol. 8 No. 2 Februari 2016.
- Syamsiro dkk, 2016. *Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal*. Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, Vol. 1 (2).
- Tazi, Imam, dan Sulistiana, 2011. *Uji Kalor Bahan Bakar Campuran Bioetanol Dan Minyak Goreng Bekas*. Jurnal Neutrino Vol. 3 No. 2
- Wardhana, Prabuditya Bhisma Wisnu, dan Saptoadi, Harwin, 2016, *Konversi Limbah Plastik Polietilen Menjadi Bahan Bakar Dengan Metode Pirolisis*. Jurnal DISPROTEK Vol. 7
- Wikipedia.2017.*Bahan Bakar*. [https://id.wikipedia.org/wiki/Bahan bakar](https://id.wikipedia.org/wiki/Bahan_bakar). (Diakses tanggal 2 Agustus 2017 pukul 01.04 WIB)
- Wiratmaja, I Gede. 2010. *Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*. Bali: Teknik Mesin Universitas Udayana. Vol.4, No.2:145-154