

PENGARUH VARIASI SUDUT ORIENTASI KONDENSOR (0° , 15° , Dan 30°) DENGAN KONFIGURASI ALIRAN *COUNTER FLOW* DAN DEBIT AIR 6 LPM TERHADAP HASIL PIROLISIS PLASTIK LDPE

Riza Adnan¹, Sudarja², Tito Hadji Agung Santoso³

Program Sudi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul Yogyakarta 55183
rizaadnan19@gmail.com

Intisari

Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia yang berupa zat organik maupun anorganik bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai dan dianggap sudah tidak berguna lagi dan dibuang ke lingkungan. Dari berbagai jenis sampah yang dihasilkan yang menjadi permasalahan yaitu jenis sampah plastik, plastik merupakan jenis sampah yang tidak dapat terurai dan dapat menimbulkan berbagai macam pencemaran lingkungan. Pengolahan sampah plastik dengan menggunakan metode pirolisis merupakan cara yang efektif untuk mengurangi sampah plastik. Proses pirolisis pengolahan sampah plastik menggunakan variasi sudut orientasi kondensor 0° , 15° , dan 30° . Sampah plastik apabila diolah menggunakan alat pirolisis dapat mengubah asap menjadi asap cair atau bahan bakar minyak plastik, maka dapat menghasilkan bahan bakar minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Metode pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan sudut orientasi kondensor 0° , 15° , dan 30° dengan menggunakan debit aliran pendingin 6 LPM. Proses pirolisis pada penelitian ini menggunakan jenis plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) sebanyak 3 kg. Plastik yang sudah diptong kecil-kecil kemudian dimasukkan kedalam reaktor pemanas, proses pirolisis plastik tersebut memerlukan temperatur 200°C - 400°C . Lama waktu proses pirolisis yaitu sampai minyak tidak menetes atau dalam waktu 100 menit.

Hasil percobaan menunjukkan pada sudut 0° menghasilkan minyak 430 ml dengan sisa arang pemanasan seberat 184 gr, kemudian pada sudut 15° menghasilkan minyak 610 ml dan sisa arang seberat 142 gr, dan pada sudut 30° menghasilkan minyak 570 ml dengan sisa arang pemanasan seberat 158 gr. Minyak pirolisis plastik memiliki nilai kalor 10935,20 cal/g, viskositas $2,5\text{ mm}^2/\text{s}$, densitas 0,8 g/ml, dan *flash point* $32,6^\circ\text{C}$. Karakteristik minyak pirolisis tersebut mendekati dari karakteristik bahan bakar minyak jenis solar dan minyak tanah.

Keywords : plastik, pirolisis, sudut orientasi, bahan bakar, karakteristik minyak

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kendaraan bermotor di era globalisasi tidak terkendali dan setiap tahunnya terus meningkat. Akan tetapi, pertumbuhan kendaraan bermotor yang semakin meningkat tidak seimbang dengan jumlah stok bahan bakar minyak yang semakin menipis. Selain itu juga belum ditemukannya bahan bakar alternatif atau energi terbarukan yang dapat diproduksi masal akan berakibat terjadinya krisis energi di masa yang akan datang. Nugroho (2013) menyatakan bahwa konsumsi bahan bakar minyak tertinggi tercatat pada tahun 2011 dengan konsumsi bahan bakar sebesar 394.052 juta barrel. Dimana konsumsi bahan bakar terbesar berasal dari kendaraan bermotor yaitu premium dan solar.

Dari data Badan Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta (BLH DIY) pada tahun 2015 rata-rata setiap orang menghasilkan 0,44 kg. Dari jumlah keseluruhan sampah yang dihasilkan di DIY komposisi sampah 57% organik dan 43% anorganik. Dari potensi sampah anorganik yang cukup besar maka berpotensi untuk dapat diolah

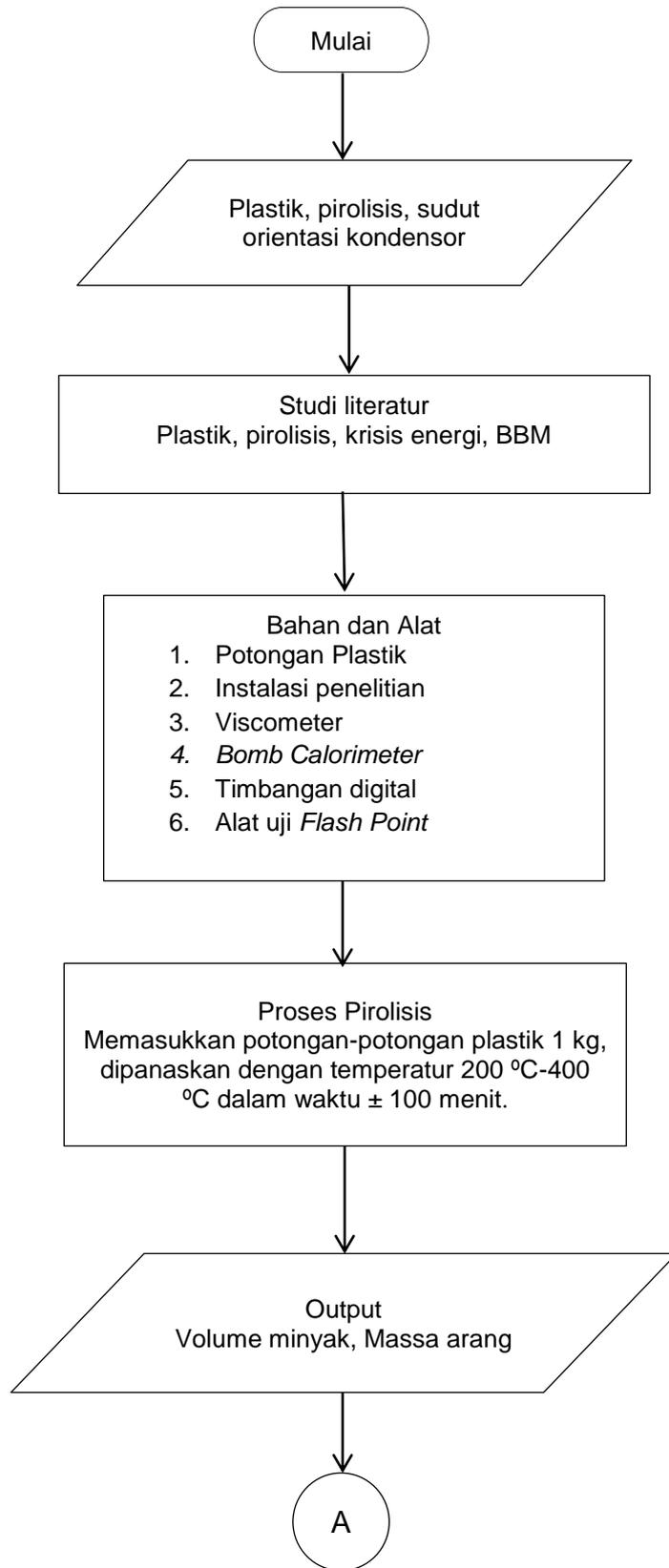
kembali menggunakan metode pirolisis untuk menghasilkan minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Metode pirolisis merupakan metode dengan cara pemanasan, metode tersebut sangat tepat untuk mengatasi sampah plastik yang semakin meningkat. Dengan proses pirolisis tersebut dapat dijadikan bahan bakar minyak, dengan cara dipanaskan di dalam reaktor pemanasan kemudian asap di dinginkan di dalam kondensor maka asap dari hasil pemanasan akan berubah menjadi asap cair atau minyak. Minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis dapat dijadikan bahan bakar alternatif di masa yang akan datang.

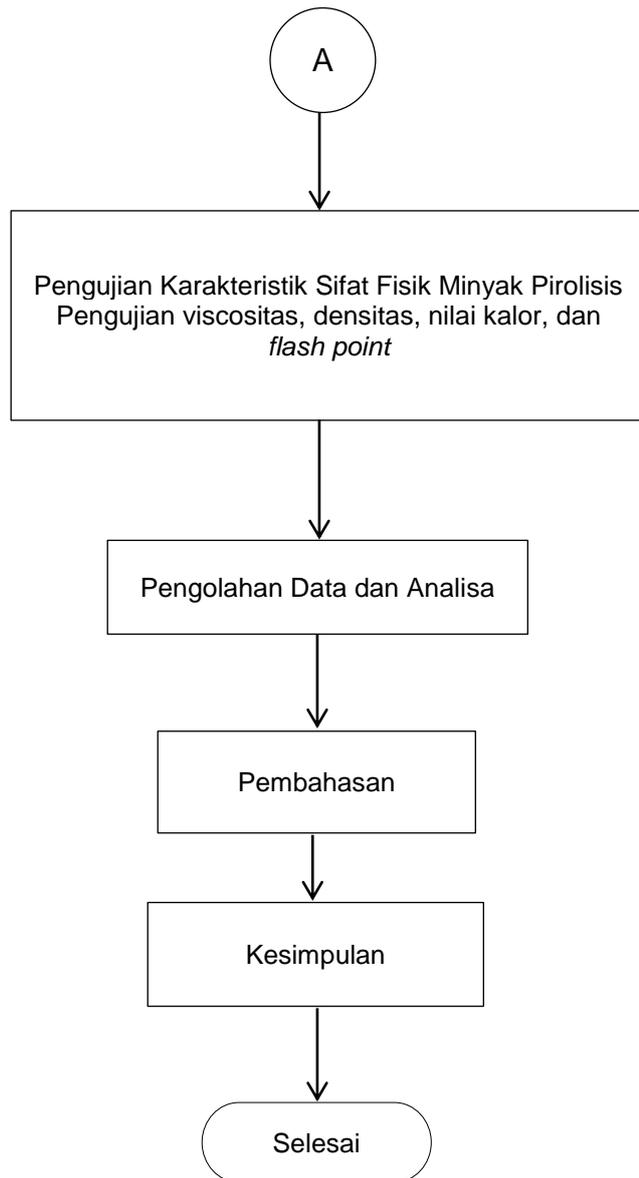
Penelitian ini dilakukan karena proses pirolisis plastik masih terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil minyak seperti temperatur pemanasan, kemiringan sudut orientasi kondensor, debit air pendingin, isolator pada reaktor dan kondensor dan arah aliran pendingin. Selain itu plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) memiliki sifat penyusun plastik yang terdiri dari komponen hidrokarbon minyak bumi, maka limbah plastik berpotensi sangat besar dapat dijadikan bahan bakar minyak.

2. METODE PENELITIAN

Proses pirolisis pada penelitian ini menggunakan jenis plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Kondensor yang digunakan untuk proses kondensasi terdiri dari tiga sudut orientasi 0°, 15°, dan 30°. Proses pemanasan plastik berlangsung selama 100 menit atau sampai minyak tidak menetes. Setelah proses pirolisis selesai hasil dari minyak yang didapatkan akan di uji sifat karakteristiknya. Pengujian sifat karakteristik minyak pirolisis meliputi pengujian nilai kalor, densitas, viskositas, dan *flash point*. Proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1.

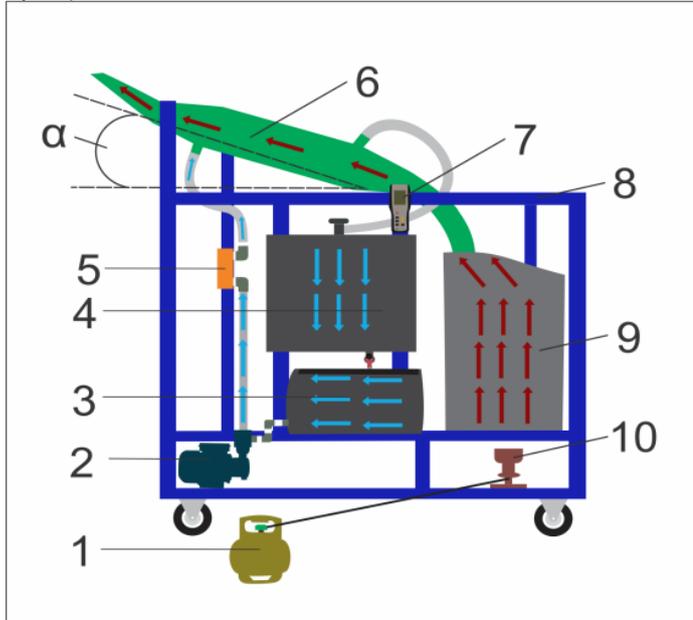


Gambar 2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.2. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan memvariasi sudut orientasi kondensor. Debit aliran air pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah 6 LPM. Kemudian setiap percobaan pembakaran plastik LDPE menggunakan Gas LPG dalam tekanan penuh. Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit selama 100 menit atau minyak sudah tidak menetes. Data yang didapat akan digunakan untuk menghitung besar perpindahan kalor yang terjadi pada kondensor. Setelah hasil keseluruhan minyak pirolisis diuji sifat fisik karakteristik, pengujian tersebut meliputi: pengujian *flash point* (titik nyala), nilai kalor, densitas, dan viskositas.



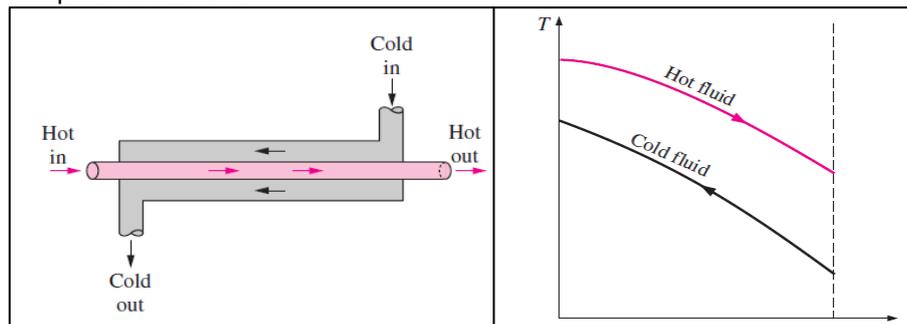
Keterangan :

1. Tabung Gas LPG
2. Pompa air
3. Penampung air pendingin
4. Radiator
5. *Flowmeter*
6. Kondensor
7. *Thermocouple*
8. Rangka instalasi
9. Reaktor
10. Tungku pembakaran
- α Sudut kondensor

Gambar 2.3. Skema Alat Uji Pirolisis

TIPE ALIRAN PENUKAR KALOR

- a. Type aliran yang digunakan pada kondensor menggunakan type *counter flow* yaitu penukar kalor dengan fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar pada arah yang berbeda atau berlawanan arah (Chengel, 2003) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2.4. Skema dan grafik rata-rata ΔT *Counter Flow* (Chengel, 2003)

Laju perpindahan panas *parallel flow* :

$$Q_c = m \cdot c (T_3 - T_2) \quad (1)$$

Dengan m adalah Laju masa fluida, c adalah kalor jenis air, T_2 adalah temperatur masuk fluida dingin, T_3 adalah temperatur keluar fluida panas Berdasarkan persamaan 2 (Chengel, 2003), dengan aliran yang berkerja pada aliran berlawanan (*counter flow*), maka nilai LMTD di tunjukkan Gambar 2.4 adalah:

$$LMTD_{CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln\left(\frac{(T_{h,in} - T_{c,out})}{(T_{h,out} - T_{c,in})}\right)} \quad (2)$$

Maka persamaan nilai kalor (Q) *counter flow* adalah:

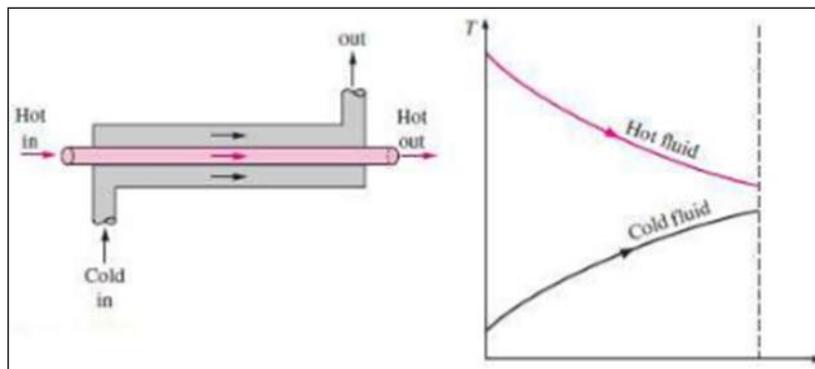
$$Q = U \times A \times LMTD_{CF} \quad (3)$$

$$UA = \frac{1}{R_{tot}} \quad (4)$$

$$U = \frac{1}{A \cdot R_{tot}} \quad (5)$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_2} \quad (6)$$

- b. Penukar kalor tipe aliran sejajar atau sering disebut dengan *parallel flow* yaitu penukar kalor dengan fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar pada arah yang sama (Chengel, 2003) dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema *Parallel Flow* (Chengel, 2003)

Perpindahan panas dapat ditentukan dengan menggunakan hukum Newton tentang pendinginan yang menghubungkan Q dengan ΔT (Chengel, 2003), yaitu:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (7)$$

Berdasarkan asumsi di bawah ini dapat dibuktikan bahwa harga beda temperatur (ΔT) dalam persamaan 5 adalah beda temperatur rata-rata logaritmik. Dengan harga U konstan pada seluruh panjang pipa, laju aliran fluida konstan memenuhi ketentuan aliran tunak, kerugian kalor diabaikan, kalor jenis (C_p) dianggap konstan, konduksi aksial memanjang pipa diabaikan.

Jika ketentuan di atas terpenuhi, maka persamaan berubah menjadi:

$$Q = U \times A \times LMTD \quad (8)$$

Berdasar jenis aliran yang terjadi pada aliran sejajar (*Parallel Flow*), maka persamaan LMTD di tunjukkan persamaan 6 (Chengel, 2003).

$$LMTD_{PF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,in}) - (T_{h,out} - T_{c,out})}{\ln\left(\frac{(T_{h,in} - T_{c,in})}{(T_{h,out} - T_{c,out})}\right)} \quad (9)$$

Maka persamaan nilai kalor (Q) *parallel flow* (Chengel, 2003) adalah:

$$Q = U \times A \times LMTD_{PF} \quad (10)$$

$$UA = \frac{1}{R_{tot}} \tag{11}$$

$$U = \frac{1}{A \cdot R_{tot}} \tag{12}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_2} \tag{13}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pada proses pirolisis dilakukan dengan pengambilan data setiap 10 menit. Hasil yang dicatat adalah temperatur reaktor, temperatur air pendingin masuk dan keluar, volume minyak, dan konsumsi gas.

Table 3.1. Data hasil percobaan sudut 0°

Interval waktu (menit)	Debit 6 LPM, sudut 0°				TR rata-rata	Q (Watt)	V Minyak /10 menit	Konsumsi gas/10 menit (Kg)
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				
0	54,67	29,92	29,83	29,94	29,32	121,01	0	0
0-10	58,62	30,43	30,23	29,64	97,33	249,53	0	0,12
10-20	66,22	31,85	31,55	30,76	142,31	380,88	0	0,13
20-30	70,07	32,76	32,46	31,48	188,50	383,70	20	0,14
30-40	73,82	34,49	34,08	32,31	297,77	515,98	40	0,13
40-50	89,21	36,11	35,60	33,44	319,02	647,95	130	0,14
50-60	113,93	37,74	37,32	34,26	325,97	526,02	100	0,13
60-70	124,66	38,55	38,23	34,26	334,88	401,57	85	0,14
70-80	124,16	38,55	38,33	33,95	340,81	274,61	30	0,13
80-90	96,71	39,97	39,75	36,00	357,71	279,00	20	0,13
90-100	80,50	41,39	41,17	37,03	349,26	283,39	5	0,13
Jumlah							430	1,32

Tabel 3.2. data hasil percobaan sudut 15°

Interval waktu (menit)	Debit 6 LPM, sudut 15				TR rata-rata	Q (Watt)	V Minyak /10 menit	Konsumsi gas /10 menit (Kg)
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				
0	81,51	28,81	28,61	31,59	33,10	244,52	0	0
0-10	172,17	28,91	28,61	31,79	146,93	371,79	0	0,13
10-20	180,17	29,21	28,81	32,61	197,00	499,68	20	0,13
20-30	182,80	34,79	34,28	32,92	326,27	643,88	30	0,14
30-40	208,03	36,11	35,39	32,31	346,95	901,86	90	0,13
40-50	180,17	37,74	36,91	32,82	372,10	1033,8	165	0,14
50-60	121,12	38,35	37,62	33,64	384,72	908,76	195	0,14
60-70	83,34	39,26	38,74	32,82	374,05	657,67	50	0,13
70-80	76,25	39,46	38,94	33,13	365,72	658,30	30	0,13
80-90	72,40	39,46	39,04	32,41	361,99	531,34	20	0,14
90-100	70,58	39,67	39,34	32,92	358,16	405,02	10	0,13
Jumlah							610	1,34

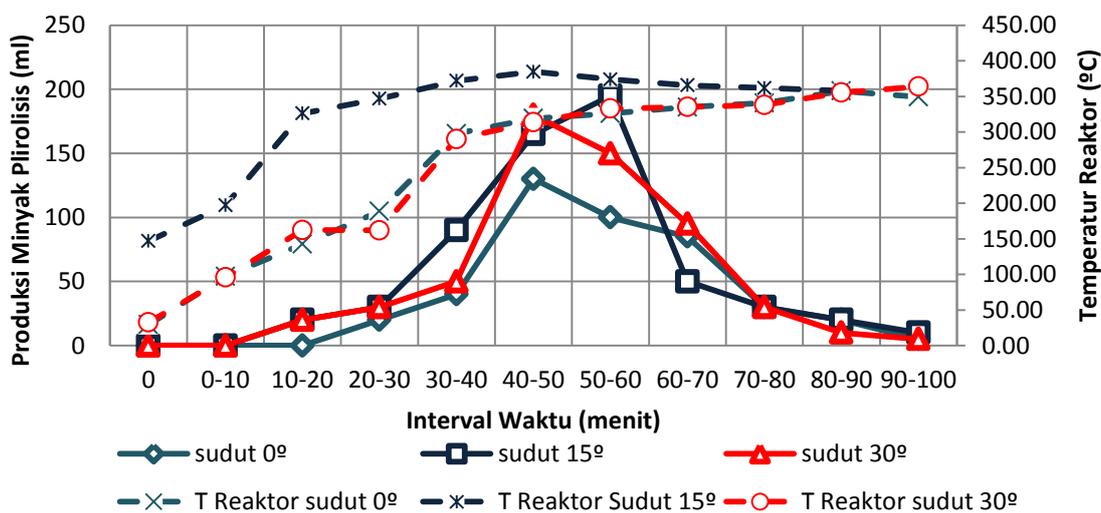
Tabel 3.3. Data hasil percobaan sudut 30°

Debit 6 LPM, sudut 30								
Interval waktu (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	TR rata-rata	Q (Watt)	V Minyak /10 menit	Konsumsi gas/10 menit (Kg)
0	51,03	29,92	29,73	32,00	32,36	247,97	0	0
0-10	65,61	30,84	30,64	31,28	95,70	250,79	0	0,12
10-20	91,54	31,55	31,24	30,97	162,33	379,94	20	0,14
20-30	98,23	33,37	32,96	32,20	161,74	512,53	30	0,13
30-40	101,37	34,79	34,18	32,41	290,15	770,83	50	0,13
40-50	106,74	37,33	36,61	33,23	313,92	905,63	180	0,14
50-60	124,97	37,64	37,12	34,05	332,94	652,66	150	0,14
60-70	145,33	38,75	38,33	34,56	335,20	529,15	95	0,13
70-80	157,79	39,87	39,55	35,28	338,02	405,64	30	0,13
80-90	131,96	40,58	40,25	36,00	355,34	407,84	10	0,13
90-100	92,65	41,19	40,96	36,52	363,82	282,76	5	0,13
Jumlah							570	1,32

TR= Temperatur rata-rata reaktor
V minyak = Produksi minyak

KORELASI WAKTU TERHADAP HASIL MINYAK DAN TEMPERATUR REAKTOR

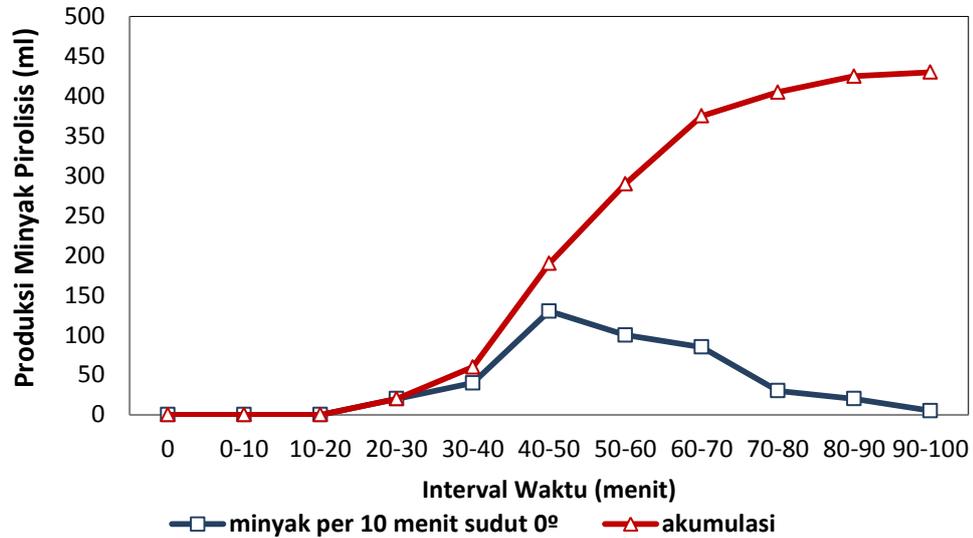
Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa terbentuk hubungan antara lama waktu yang diperlukan untuk pirolisis dengan hasil minyak yang didapatkan. Hasil penelitian antara waktu dengan hasil minyak yang didapatkan pada pengujian sampah plastik LDPE akan dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Grafik Korelasi Waktu Terhadap Hasil Minyak Dan Temperatur Reaktor

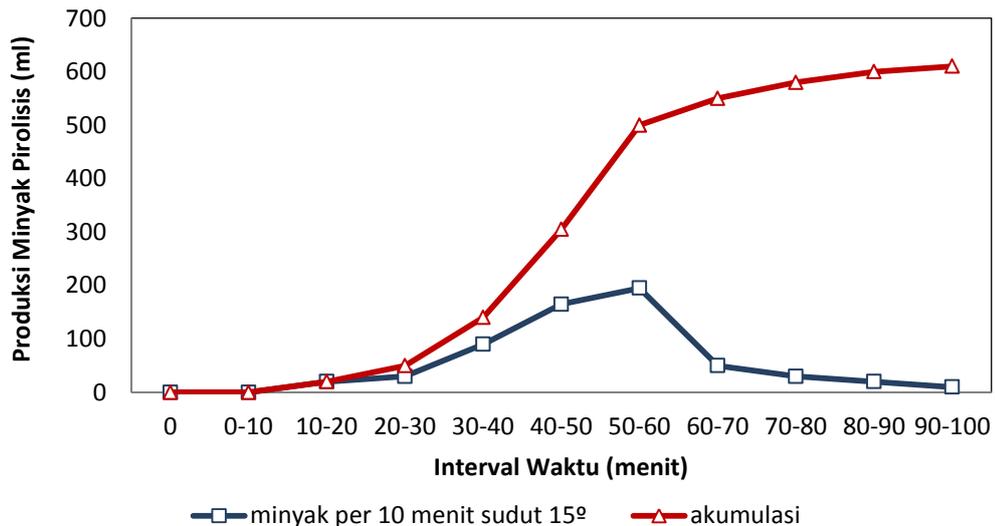
Gambar 3.1 menunjukkan perolehan minyak yang didapat dalam setiap 10 menit. Pada sudut 0° minyak mulai menetes pada menit 20-30 dan perolehan minyak terbanyak terjadi pada menit 40-50 yaitu sebesar 130 ml. Kemudian pada sudut 15° minyak sudah mulai menetes pada menit 10-20 dan perolehan minyak tertinggi terjadi pada menit 50-60

yaitu sebanyak 195 ml. Pada sudut 30° sama seperti sudut 15° pada menit 10-20 minyak mulai menetes kemudian perolehan minyak terbanyak terjadi pada menit 40-50 yaitu sebanyak 180 ml.



Gambar 3.2. Produksi hasil minyak, dengan posisi kondensor sudut 0°

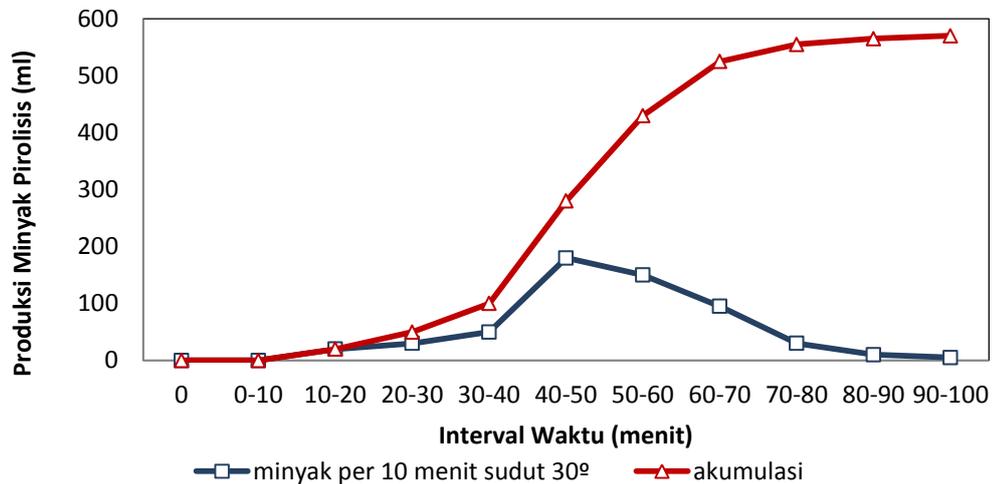
Pada Gambar 3.2 menunjukkan perolehan keseluruhan minyak pada sudut 0°, pada percobaan pertama menghasilkan minyak sebanyak 430 ml. Sudut 0° merupakan sudut dimana hasil minyak pirolisis paling sedikit. Hasil tersebut disebabkan posisi kondensor yang mendatar dan mengakibatkan asap menumpuk didalam kondensor menyebabkan asap tidak dapat terkondensasi dengan baik. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis setelah mencapai titik tertinggi hasil minyak mengalami penurunan. Penurunan hasil minyak pirolisis disebabkan karena bahan atau plastik kresek yang dipanaskan di dalam reaktor sudah habis dan sudah menjadi arang maka tidak ada asap yang terkondensasi di dalam kondensor.



Gambar 3.3. Produksi hasil minyak, dengan posisi kondensor sudu 15°

Pada Gambar 3.3 menunjukkan perolehan keseluruhan minyak pada sudut 15°, pada percobaan pertama menghasilkan minyak sebanyak 610 ml. Perolehan

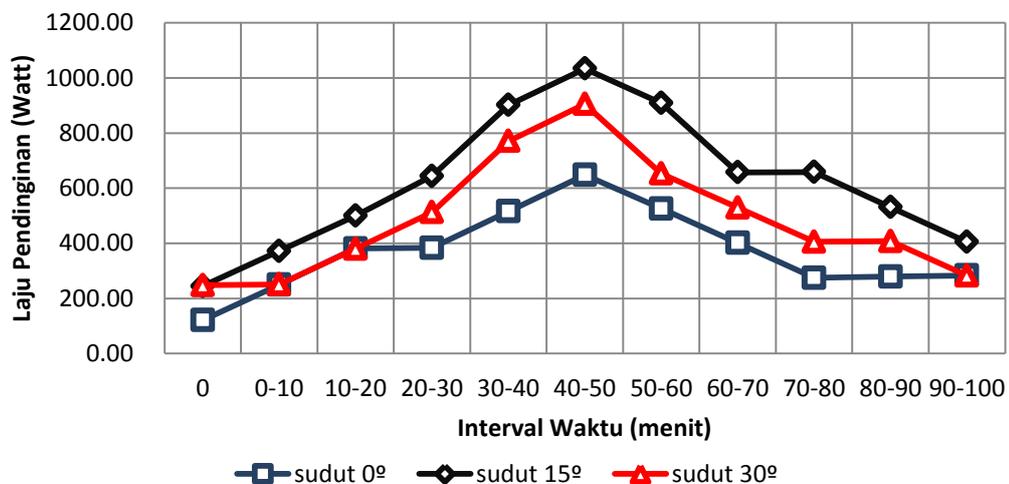
minyak pada percobaan sudut 15° merupakan hasil paling banyak dari tiga percobaan yang dilakukan. Karena pada sudut 15° asap dari hasil pemanasan plastik dapat terkondensasi dengan baik didalam kondensor sehingga minyak yang dihasilkan lebih banyak. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis setelah mencapai titik tertinggi hasil minyak mengalami penurunan. Penurunan hasil minyak pirolisis disebabkan karena bahan atau plastik kresek yang dipanaskan di dalam reaktor sudah habis dan sudah menjadi arang maka tidak ada asap yang terkondensasi di dalam kondensor.



Gambar 3.5. Produksi hasil minyak, dengan posisi kondensor sudu 30°

Pada Gambar 3.5 menunjukkan perolehan keseluruhan minyak pada sudut 30°, pada percobaan pertama menghasilkan minyak sebanyak 570 ml. Hasil minyak yang didapat pada sudut ini tidak sebaik perolehan minyak pada sudut 15°, karena pada sudut tersebut posisi kondensor terlalu naik keatas sehingga asap hanya melewati kondensor dan tidak terkondensasi dengan baik. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis setelah mencapai titik tertinggi hasil minyak mengalami penurunan. Penurunan hasil minyak pirolisis disebabkan karena bahan atau plastik kresek yang dipanaskan di dalam reaktor sudah habis dan sudah menjadi arang maka tidak ada asap yang terkondensasi didalam kondensor.

KORELASI WAKTU TERHADAP LAJU PERPINDAHAN KALOR



Gambar 3.6. Grafik korelasi waktu terhadap nilai laju perpindahn kalor

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa laju perpindahan panas paling tinggi terjadi pada percobaan ke dua sudut 15° , berbeda dengan perpindahan panas yang terjadi pada dua percobaan lainnya pada sudut 0° dan 30° . Nilai perpindahan panas seharusnya sama apabila menggunakan pemanas yang sama, nilai tersebut berbeda karena dipengaruhi oleh tekanan tabung LPG yang digunakan sebagai pemanas berbeda-beda. Jadi untuk melakukan penelitian yang sama menggunakan pemanas LPG maka perlu alat ukur rotameter. Dengan menggunakan rotameter maka dapat diketahui tekanan gas pada setiap tabung agar tidak berbeda-beda dan dalam keadaan tekanan yang konstan. Selain menggunakan rotameter dapat menggunakan pemanas listrik (*heater*) yang dapat mengatur temperatur tetap dalam kondisi yang konstan.

KORELASI TOTAL HASIL MINYAK DAN SISA ARANG TERHADAP BAHAN

Data yang diperoleh dapat diambil dengan cara mengukur terlebih dahulu hasil minyak yang didapatkan dan sisa plastik yang menjadi arang seperti pada Tabel 4.

Tabel 3.1. Persentase Hasil Minyak dan Sisa Arang

Sudut ($^{\circ}$)	Berat minyak (gr)	Berat plastik (gr)	Persentase minyak (%)	Persentase arang (%)	Persentase Gas (%)
0	323	1000	32,3	18,4	49,3
15	466	1000	46,6	14,2	39,2
30	408	1000	40,8	15,8	43,4

DATA HASIL KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR CAIR MINYAK PIROLISIS

Tabel 3.2. Data Karakteristik Hasil Minyak

NO	Paramater	Minyak Pirolisis Plastik	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (mm^2/s)	2,5	1,4	2-4,5	0,7
2	Nilai Kalor (cal/g)	10.935,20	10.939,1	9.240	11.245
3	Densitas (g/ml)	0,8	0,9	0,8	0,7
4	<i>Flash Point</i> ($^{\circ}\text{C}$)	32,6	60,2	52	43

Dari Tabel 5. dapat ditarik suatu pernyataan bahwa viskositas paling tinggi jika dibandingkan dengan premium, minyak tanah, dan solar maka hasil minyak pirolisis dari sampah plastik LDPE berada ditengah tengah, dapat diartikan bahwa karakteristik minyak pirolisis plastik LDPE sama dengan viskositas pada solar. Untuk nilai kalor minyak pirolisis plastik LDPE berada pada posisi yang sama dengan nilai kalor pada minyak tanah sedangkan nilai kalor tertinggi pada premium sebesar 11.245 cal/g. Nilai densitas atau yang sering disebut massa jenis dari minyak plastik LDPE yaitu mempunyai nilai yang sama dengan bahan bakar solar dengan nilai 0,8 g/ml dibawah nilai minyak tanah 0,9 g/ml tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai massa jenis premium 0,7 g/ml. Untuk nilai *flash point* atau biasa disebut dengan titik nyala api minyak pirolisis

plastik jika dibandingkan dengan bahan bakar lainnya merupakan yang tertinggi atau cepat terbakar karena mempunyai nilai yang rendah yaitu 32,6 °C.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Setelah melakukan penelitian dapat diketahui bahwa sudut dengan hasil volume minyak paling banyak adalah sudut 15° menghasilkan minyak 610 ml kemudian pada sudut 30° menghasilkan minyak 570 ml dan pada sudut 0° menghasilkan minyak 430 ml. Hal itu terjadi tidak hanya karena kemiringan sudut orientasi kondensor, akan tetapi juga karena tekanan gas pada setiap tabung LPG dari tiga percobaan berbeda-beda yang membuat temperatur tidak konstan.
2. Laju perpindahan panas pada kondensor tertinggi terjadi pada sudut 15° menit 40-50 dengan laju perpindahan panas sebesar 1.033,84 Watt. Pada penelitian ini aliran jenis *Counter Flow* memiliki nilai LMTD lebih besar jika dibandingkan dengan nilai LMTD *Parallel Flow*, maka jenis aliran *Counter Flow* lebih baik.
3. Minyak dari pirolisis plastik LDPE memiliki karakteristik fisik mendekati solar dan minyak tanah, apabila akan dijadikan bahan bakar alternatif maka perlu adanya pengujian selanjutnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

Andriyanto, Muhamad. 2017. Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Kondensor (0°, 15°, dan 30°) Terhadap Hasil Pirolisis Plastik LDPE Pada Debit Air Pendingin 6 LPM. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Cengel, Yunus A. 2003 *Heat Transfer a Pratical Approach*. New York: McGrawHill

Gaurav, et al. 2014. *Conversion Of LDPE Plastic Waste Into Liquid Fuel By Thermal Degradation*. Amerika: *Journal of Mechanical And Production Engineering*. Vol. 2, No.4:104-107.

<https://blh.jogjaprovo.go.id/> diakses pada tanggal 24 Mei 2018

Landi, Taufan dan Arijanto. 2017. Perancangan dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Diponegoro. Vol.5, No.1.

Maulida, Rizky Hardiyatul. 2010. Analisis Pengaruh Suhu Dan Kontaminan Terhadap Viskositas Oli Menggunakan *Rotary Viscometer*. Jurnal Neutrino. Jurusan Fisika. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Vol.3, No.1.

Nasrun. 2016. Studi Awal Produksi Bahan Bakar Dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas. Jurnal Teknologi Kimia Unimal. Universitas Malikussaleh. Vol.5. No.1.

Nugraha, Mahendra Fajri. 2013. Pembuatan *Fuel* dari *Liquid* Hasil Pirolisis Plastik *Polypropilene* Melalui Proses *Reforming* Dengan Katalis NiO/T-Al₂O₃. Jurnal Teknik POMITS. Jurusan Teknik Kimia. Institut Teknologi Sepuluh November. Vol.2, No.2.

- Pani, Soelarso. 2017. Pembuatan *Biofuel* Dengan Proses Pirolisis Berbahan Baku Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) Pada Suhu 250 °C dan 300. *Jurnal Engine*. Universitas Proklamasi 45. Vol.1. No.1.
- Pertamina. 2015. *Produksi Bahan Bakar*. Jakarta: Pertamina.
- Ramadhan, Aprian P. 2012. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Progdil Teknik Lingkungan. Universitas Pembangunan Nasional Jawa Timur. Vol.4. No.1
- Surono, Untoro Budi dan Ismanto. 2016. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan PE menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. *Jurnal Mekanika Sistem Termal*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Janabadra. Vol.1(1).
- Wicaksono, Mahendra Aji dan Arijanto. 2017. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Terephthalate) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Vol.5, No.1.