

# Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Kondensator (0°, 15°, dan 30°) Dengan Konfigurasi Aliran Counter Flow dan Debit Air 18 LPM Terhadap Hasil Pirolisis Plastik LDPE

Bibit Hariadi  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Email: bibithariadi26@gmail.com

---

## Intisari

Kondensator adalah alat yang digunakan untuk mengkondensasi asap menjadi minyak pada proses pirolisis. Sudut kemiringan kondensator berpengaruh pada minyak yang dihasilkan dalam proses pirolisis. Semakin tegak sudut kondensator maka laju aliran asapnya semakin cepat sedangkan semakin datar sudut kondensator maka laju aliran asapnya semakin lambat. Sistem pendinginan yang bagus harus memperhatikan kecepatan laju fluidanya, baik fluida yang didinginkan maupun fluida pendinginnya. Semakin besar debit air pendingin yang digunakan maka akan semakin cepat laju aliran pendinginan asapnya sedangkan semakin kecil debit air pendingin maka semakin lambat laju aliran pendinginan asapnya. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sudut kemiringan kondensator yang paling baik agar hasil minyak pirolisis yang didapat maksimal.

Percobaan pirolisis ini menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE sebanyak 3 kg. Setiap percobaan menggunakan 1 kg sampah plastik LDPE yang sudah dipotong dengan ukuran 4x4 cm. Suhu yang digunakan pada pengujian yaitu 300 °C – 350 °C. Aliran pendinginan pada kondensator yang digunakan yaitu jenis aliran *counter flow* dan debit air pendingin yang digunakan sebesar 18 LPM, dengan variasi sudut kondensator yang digunakan yaitu 0°, 15°, dan 30°. Waktu yang dibutuhkan untuk pengujian 1 kg sampah plastik LDPE yaitu membutuhkan waktu 100 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi minyak tertinggi didapat pada percobaan dengan sudut 15° karena kemiringan kondensornya pas tidak terlalu tegak dan tidak terlalu datar sehingga aliran asapnya tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat. Pada sudut 30° menghasilkan minyak paling sedikit karena kemiringan kondensator pada sudut 30° terlalu tegak sehingga asap yang belum terkondensasi sempurna terbuang lewat cerobong asap. Pada percobaan sudut 0° kemiringan kondensator terlalu datar sehingga asap yang mengalir ke kondensator lambat dan asap akan mengkondensat di pipa – pipa tembaga yang dapat menghalangi air pendingin ketika mengalir mendinginkan pipa. Percobaan dengan sudut 15° menghasilkan 690 ml dan perpindahan kalor tertinggi 1.802,46Watt. Sedangkan percobaan dengan sudut 0° menghasilkan minyak 580 ml dan laju perpindahan kalor tertinggi 1552,94 Watt, dan percobaan dengan sudut 30° menghasilkan minyak 540 ml dan nilai laju perpindahan kalor tertinggi 1.167,06 Watt.

**Kata kunci: Pirolisis, plastik LDPE, sudut kemiringan kondensator, debit air pendingin**

---

## 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, plastik merupakan barang yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Pemakaiannya yang praktis, harganya terjangkau, dan mudah didapat menjadikan plastik pilihan utama sebagian banyak masyarakat. Mulai dari bungkus makanan dan minuman, mainan anak-anak, hingga perabotan rumah tangga banyak sekali yang berbahan dasar plastik. Hal ini berdampak pada meningkatnya penggunaan plastik di Indonesia. Di tahun 2010, tercatat 2,4 juta ton, dan pada tahun 2011, sudah meningkat menjadi 2,6 juta ton. Akibat dari peningkatan penggunaan plastik tersebut maka bertambah pula sampah plastik yang dihasilkan. Berdasarkan asumsi Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), setiap harinya penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 kg sampah atau total sebanyak 189 ribu ton sampah per hari. Dari jumlah tersebut 15% berupa sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik/hari. (Surono, 2013). Semakin meningkatnya sampah plastik ini akan menjadi masalah serius bila tidak dicari penyelesaiannya.

Plastik sebenarnya mempunyai keunggulan dibanding material yang lain diantaranya kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diberi warna, mudah dibentuk, serta isolator panas dan listrik yang baik. Akan tetapi plastik yang sudah menjadi sampah mempunyai

dampak negatif terhadap lingkungan karena plastik tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir. Sampah plastik yang dibakar bisa mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Maka dari itu harus ada penanganan yang tepat terhadap sampah plastik agar tidak merusak lingkungan dan tidak membahayakan kesehatan.

Semakin berkembangnya teknologi saat ini, ditemukanlah cara baru untuk mengolah sampah plastik yaitu dengan pirolisis. Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi secara termokimia dari material organik atau sintesis untuk menghasilkan bahan bakar (berupa bio-oil) pada suhu tinggi dalam kondisi miskin oksigen (Syamsiro dkk, 2014). Alat pirolisis berfungsi mengubah sampah plastik menjadi asap cair (minyak plastik) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar (Wijaya, 2017). Sehingga selain mengurangi sampah plastik, hasil dari pirolisis juga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mengatasi kelangkaan BBM.

Pirolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah suhu, waktu proses pirolisis, dan sistem pendinginan asap. Pirolisis yang bagus terjadi pada suhu antara 370°C- 420°C (Thorat dkk, 2013). Semakin tinggi suhu pirolisis, jumlah minyak yang dihasilkan semakin besar. Akan tetapi, di atas suhu 500°C, terjadi proses dekomposisi produk lebih lanjut menjadi gas sehingga minyak yang dihasilkan akan mulai berkurang (Mandala dkk, 2016). Semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung juga berpengaruh terhadap hasil pirolisis. Semakin lama waktu proses pirolisis maka bahan pirolisis yang terbakar akan maksimal sehingga minyak yang dihasilkan akan semakin banyak. Sedangkan sistem pendinginan yang bagus harus memperhatikan kecepatan laju fluidanya, baik fluida yang didinginkan maupun fluida pendinginnya. Kecepatan aliran fluida pendingin dapat diatur menggunakan *flowmeter*, sedangkan kecepatan fluida yang didinginkan dapat disesuaikan dengan kemiringan sudut kondensor yang akan dilewati (Wijaya, 2017). Oleh karena itu harus dilakukan pengkombinasian yang pas dari variabel-variabel tersebut agar hasil yang didapatkan maksimal.

Kemiringan sudut kondensor sangat berpengaruh terhadap aliran asap pada kondensor. Semakin tegak kondensor maka aliran asap akan semakin cepat. Hal ini mengakibatkan asap yang belum terkondensasi sempurna terbuang lewat cerobong asap. Sehingga hasil yang didapatkan tidak maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang kemiringan sudut kondensor agar hasil yang didapat lebih maksimal.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pirolisis sudah banyak digunakan dimana-mana baik di dunia industri maupun masyarakat. Pirolisis juga sudah banyak dilakukan penelitian oleh peneliti pendahulu. Namun dalam penelitian pasti masih ada kekurangan dalam pengerjaan dan praktiknya. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengubah sampah plastik menjadi bahan bakar yang lebih optimal yaitu dengan variasi sudut kemiringan kondensor, dan debit air pendinginan. Dengan seperti ini diharapkan sampah plastik akan semakin berkurang dan minyak pirolisis yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mengatasi kelangkaan BBM.

Wijaya (2017) melakukan penelitian pirolisis menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE (*low density polyethylene*) dengan total 3 kg dimana setiap percobaan menggunakan 1 kg sampah plastik LDPE. Alat pirolisis pada penelitian ini menggunakan variasi kemiringan kondensor terhadap reaktor yaitu 0°, 15°, 30° dan debit air pendingin untuk kondensor 18 LPM. Dalam penelitian ini waktu percobaan dilakukan selama 100 menit. Pengujian dilakukan pada suhu 300°C - 350°C, tiap percobaan menggunakan debit yang sama yaitu 18 LPM. Sudut yang digunakan bervariasi yaitu 0°, 15°, dan 30°. Hasil penelitian menunjukkan produksi minyak tertinggi didapat pada percobaan dengan sudut 15° menghasilkan 590 ml dan perpindahan kalor 876,13 Watt. Sedangkan percobaan dengan sudut 0° menghasilkan minyak 540 ml dan laju perpindahan kalor tertinggi 757,64 Watt, dan percobaan dengan sudut 30° menghasilkan minyak 520 ml dan nilai laju perpindahan kalor tertinggi 490,25 Watt.

Penelitian Andriyanto (2017) menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE (*low density polyethylene*) dengan total 3 kg dimana setiap percobaan menggunakan 1 kg sampah plastik LDPE yang dipotong dengan ukuran 5 x 5 cm. Alat pirolisis pada penelitian ini menggunakan variasi kemiringan kondensor terhadap reaktor yaitu 0°, 15°, 30° dan debit air pendingin untuk kondensor 6 LPM. Dalam penelitian ini waktu percobaan dilakukan selama 100 menit. Dari hasil variasi sudut kemiringan kondensor, diperoleh minyak hasil sebanyak 600 ml dengan sisa abu 117 gr pada sudut kemiringan kondensor 0°, untuk sudut 15° memperoleh minyak sebanyak 560 ml dengan sisa abu 160 gr, dan sudut 30° mendapatkan hasil minyak 500 ml dengan sisa abu 262 gr.

Penelitian Rifai (2018) menggunakan sampah plastik aluminium foil dengan total 3 kg aluminium foil dengan masing-masing percobaan sebanyak 1 kg. Pengujian dilakukan pada suhu 300°C - 350°C, tiap percobaan menggunakan debit yang sama yaitu 6 LPM. Sudut yang digunakan bervariasi yaitu 0°, 15°, dan 30°. Hasil penelitian menunjukkan produksi minyak tertinggi didapat pada percobaan dengan sudut 15° menghasilkan 309 ml dan perpindahan kalor 294,87 Watt.

Sedangkan percobaan dengan sudut  $0^{\circ}$  menghasilkan minyak 292 ml dan laju perpindahan kalor tertinggi 252,34 Watt, dan percobaan dengan sudut  $30^{\circ}$  menghasilkan minyak 224 ml dan nilai laju perpindahan kalor tertinggi 213,78 Watt.

Penelitian Gaurav, dkk (2014) menggunakan bahan baku sampah plastik LDPE dengan suhu pirolisis di atas  $300^{\circ}\text{C}$  –  $500^{\circ}\text{C}$  tanpa oksigen dan pemanasan dimulai ketika suhu mencapai  $100^{\circ}\text{C}$  ketika plastik meleleh menjadi cair. Saat suhu mencapai  $270^{\circ}\text{C}$  plastik mulai berubah menjadi uap dan mengalir melewati kondensor. Pemanasan akan berlanjut dan stabil sampai suhu  $400^{\circ}\text{C}$ . Penelitian ini menghasilkan 90% minyak dan 4% abu.

Penelitian Haryadi (2015) menggunakan bahan baku sampah plastik jenis PP (*polypropylene*) dan *High Density Polyethylene (HDPE)*. Pirolisis yang dilakukan menggunakan suhu  $300^{\circ}\text{C}$  dengan lama pemanasan 17,5 menit. Pemanasan dilakukan dengan bahan bakar LPG dan dengan 2 arah aliran uap dan air yang berbeda yaitu parallel flow dan counter flow. Hasilnya pirolisis PP dan HDPE optimal dilakukan dengan arah aliran counter flow dengan hasil perpindahan kalor 1.642 Watt dan menghasilkan 360 ml minyak plastik PP. Sedangkan hasil minyak HDPE adalah 400 ml dengan perpindahan kalor tertinggi 1.218 Watt.

Penelitian Nurdianto, dkk (2016) bahan yang digunakan yaitu sampah botol plastik yang sudah dibersihkan dan dicacah sebanyak 1 kg dengan suhu  $200^{\circ}\text{C}$ . Dalam penelitiannya, Nurdianto dkk melakukan percobaan sebanyak 3 kali dan menghasilkan minyak rata-rata sebanyak 250 ml.

Penelitian Prasetyo (2015), dkk menggunakan dua jenis bahan baku yang berbeda yaitu botol plastic dan plastic kresek. Percobaan pertama menggunakan botol plastik sebanyak 1 kg dengan suhu pirolisis  $200^{\circ}\text{C}$  waktu pirolisis selama 25 menit menghasilkan minyak sebanyak 500 ml. Percobaan kedua menggunakan plastik kresek sebanyak 1 kg dengan suhu  $300^{\circ}\text{C}$  waktu pirolisis selama 30 menit menghasilkan minyak sebanyak 500 ml.

Penelitian Dharma, dkk (2015) menggunakan metode dua kali proses pirolisis. Pada proses pirolisis pertama, suhu reaktor yang digunakan adalah  $200^{\circ}\text{C}$  dengan bahan baku limbah plastik berupa kantong plastik bekas dan botol plastik kemasan bekas (campuran jenis LDPE dan HDPE) yang telah dicacah sebanyak 5 kg selama 16 jam. Setelah didapat minyak dari proses pertama kemudian dilanjutkan dengan proses pirolisis kedua. Pada proses pirolisis yang kedua, suhu reaktor yang digunakan adalah  $150^{\circ}\text{C}$ , bahan baku minyak plastik hasil pirolisis pertama sebanyak 3000 ml yang diproses selama 40 menit.

### 3. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah

1. LDPE (*Low density polyethylene*)
2. *Liquefied Petroleum Gas* (LPG)
3. Air pendingin

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

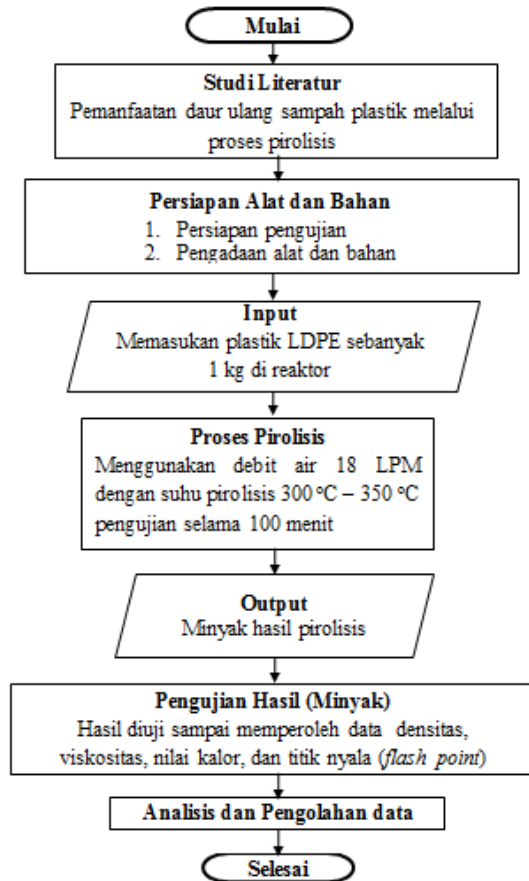
1. Pompa air
2. Kompresor Gas
3. Gelas Ukur
4. Timbangan
  1. *Thermocouple Reader*
  2. *Flow Meter*
  3. *Radiator*
4. Tabung Air Pendingin
5. Kondensor
6. Reaktor
7. *Viscometer* NDJ 8S
8. *Calorimeter*
9. Pipa Air
10. Manometer
11. *Glasswools*
12. *Aluminium Foil*

### 3.1. Parameter Penelitian

1. Efektivitas variasi sudut yang digunakan terhadap perpindahan panas dalam percobaan.
2. Efektivitas variasi sudut yang digunakan terhadap minyak yang dihasilkan dalam percobaan.
3. Efektivitas variasi sudut terhadap sisa abu dari hasil percobaan.
4. Efektivitas debit yang digunakan terhadap perpindahan panas dalam percobaan.
5. Efektivitas debit yang digunakan terhadap minyak yang dihasilkan dalam percobaan.

### 3.2. Proses Peneliiian

Diagram Alir penelitian



### 3. Data Penelitian

Data penelitian meliputi T1 sebagai pengukur suhu asap masuk ke dalam kondensor, T2 sebagai pengukur suhu air pendingin masuk ke dalam kondensor, T3 sebagai pengukur suhu air pendingin keluar dari dalam kondensor, T4 sebagai pengukur suhu asap keluar dari dalam kondensor, T5, T6, T7, T8 sebagai suhu didalam reaktor serta data hasil minyak dan abu / wax yang diperoleh. Pendataan ini didata menurut waktu per 10 menit sampai minyak tidak keluar lagi dari kondensor. Lembar data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 1 Lembar Pengambilan Data Suhu dan Hasil Minyak Plastik

WAKTU (menit)	Debit ... LPM, sudut ...				T Reaktor rata-rata (°C)	Q (Watt)	Minyak /10 menit (ml)	Konsumsi gas /10 menit (Kg)
	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				
0								
10								
20								
30								
40								
50								
60								
70								
80								
90								
100								
Total								

Laju perpindahan panas *counter flow* :

$$Q_c = m.c(T_2 - T_3)$$

Dimana : m = Laju masa fluida (kg/s) untuk debit 18 liter / menit = 0,3 kg/s

c = Kalor jenis air ( 4180 J / kg °C)

T<sub>2</sub> = Suhu masuk fluida pendingin

T<sub>3</sub> = Suhu keluar fluida pendingin

Berdasarkan persamaan 2.15 (Cengel, 2003), dengan aliran yang berkerja pada aliran berlawanan (*counter flow*), maka nilai LMTD adalah

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

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi sudut kondensor dalam penelitian ini yaitu : 0°, 15°, dan 30° serta aliran air dalam kondensor yaitu aliran air berlawanan dengan laju uap (*counter flow*) menggunakan bahan plastik LDPE (*Low density polyethylene*) dengan debit air pendingin 18 LPM. Data dan pembahasan dimulai dari percobaan pirolisis plastik.

#### 4.1. Data Terkalibrasi

##### Percobaan 1, Debit 18 LPM Sudut 0°

Pengujian dengan debit 18 LPM, menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* dan dilakukan pengisolasian pada reaktor. Sudut 0° minyak yang dihasilkan adalah 580 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,34 kg. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.1. berikut:

Tabel 2 Data Percobaan Sudut 0°

Debit 18 LPM, sudut 0°					T Reaktor rata-rata (°C)	Q (Watt)	Minyak /10 menit (ml)	Konsumsi gas /10 menit (Kg)
WAKTU (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				
0	34,31	34,08	33,98	33,85	34,48	133,85	0	0
10	41,00	36,22	35,80	42,16	140,46	521,31	0	0,14
20	90,02	37,13	36,71	41,96	293,57	524,13	20	0,14
30	286,32	39,06	38,52	40,32	337,96	657,05	80	0,13
40	134,59	40,68	39,75	39,49	343,20	1169,88	110	0,15
50	91,04	41,39	40,15	38,67	339,88	1552,94	155	0,14
60	62,78	40,88	39,95	38,47	292,72	1170,51	125	0,13
70	48,60	39,77	39,24	37,44	208,83	659,24	50	0,13
80	43,83	38,96	38,53	36,93	209,90	529,78	25	0,12
90	41,91	38,55	38,13	37,13	211,87	528,52	10	0,13
100	41,50	37,64	37,22	406,44	209,44	525,70	5	0,13
Total							580	1,34

Pada percobaan pertama minyak mulai menetes pada menit ke 18 dan terus meningkat sampai menit ke 50, kemudian produksi minyak menurun. Pada menit ke 100 minyak menetes sangat lambat dan hanya menghasilkan 5 ml. Total minyak yang dihasilkan pada percobaan ini yaitu sebesar 580 ml.

Jika dibandingkan dengan pengujian (Wijaya, 2017). Pengujian Wijaya (2017) dengan debit 18 LPM menggunakan konfigurasi aliran *parallel flow* dan tanpa dilakukan pengisolasian pada reaktor. Sudut 0° minyak yang dihasilkan yaitu 540 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,44 kg.

#### 4.2. Percobaan 2, debit 18 LPM sudut 15°

Pengujian dengan debit 18 LPM menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* dan dilakukan pengisolasian pada reaktor. Sudut 15° minyak yang dihasilkan adalah 690 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,34 kg. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 3 Data Percobaan Sudut 15°

Debit 18 LPM, sudut 15°					T Reaktor rata-rata (°C)	Q (Watt)	Minyak /10 menit (ml)	Konsumsi gas /10 menit (Kg)
WAKTU (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				
0	34,41	33,07	32,96	35,08	33,46	130,73	0	0
10	44,24	34,79	34,18	36,11	129,00	770,83	15	0,14
20	60,45	36,52	35,80	37,13	180,65	903,12	60	0,14
30	237,20	38,25	37,42	37,44	363,30	1035,40	115	0,13
40	282,78	39,97	38,53	38,26	342,16	1802,46	180	0,13
50	233,35	39,97	38,63	37,65	347,41	1675,51	145	0,14
60	220,89	40,07	39,14	38,26	343,38	1168,00	90	0,13
70	192,43	40,68	40,15	38,26	337,29	662,06	50	0,13
80	178,96	40,58	40,05	38,26	337,49	661,75	20	0,13
90	137,43	40,58	40,15	38,26	335,20	534,79	10	0,13
100	85,36	40,68	40,36	38,06	330,49	408,15	5	0,13
Total							690	1,34

Pada percobaan kedua dengan sudut 15° minyak mulai menetes pada menit ke 6 dan terus meningkat sampai ke menit 40 selanjutnya produksi minyak menurun. Total minyak yang dihasilkan dari percobaan ini yaitu 690 ml.

Jika dibandingkan dengan pengujian (Wijaya, 2017). Pengujian Wijaya (2017) dengan debit 18 LPM menggunakan konfigurasi aliran *parallel flow* dan tanpa dilakukan pengisolasian pada reaktor. Sudut 15<sup>o</sup> minyak yang dihasilkan adalah 590 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,47 kg.

#### 4.3. Percobaan 3, debit 18 LPM sudut 30<sup>o</sup>

Pengujian dengan debit 18 LPM menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* dan dilakukan pengisolasian pada reaktor. Sudut 30<sup>o</sup> minyak yang dihasilkan adalah 540 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,34 kg. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Percobaan Sudut 30<sup>o</sup>

Debit 18 LPM, sudut 30 <sup>o</sup>					T Reaktor rata-rata (°C)	Q (Watt)	Minyak /10 menit (ml)	Konsumsi gas /10 menit (Kg)
WAKTU (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				
0	31,07	33,07	32,96	33,13	29,37	130,73	0	0
10	38,47	33,48	34,28	30,97	150,59	262,07	20	0,15
20	86,48	33,68	35,71	30,87	175,29	519,75	70	0,14
30	196,17	35,20	36,22	34,98	325,43	902,18	80	0,14
40	284,50	39,77	39,77	31,48	345,29	1167,06	120	0,13
50	283,59	44,84	44,84	32,00	345,10	1055,78	140	0,14
60	284,40	50,12	49,37	32,92	338,17	945,13	60	0,13
70	265,66	53,27	52,61	34,26	338,26	827,89	25	0,13
80	287,64	56,61	56,05	36,52	338,52	711,28	10	0,13
90	285,82	51,84	51,49	36,31	339,34	442,64	10	0,12
100	280,95	51,74	51,29	35,39	337,15	569,28	5	0,16
Jumlah							540	1,34

Pada percobaan ketiga minyak mulai menetes pada menit ke 10 dan terus meningkat sampai menit 50 kemudian produksi minyak mulai menurun. Total minyak yang dihasilkan yaitu 540 ml.

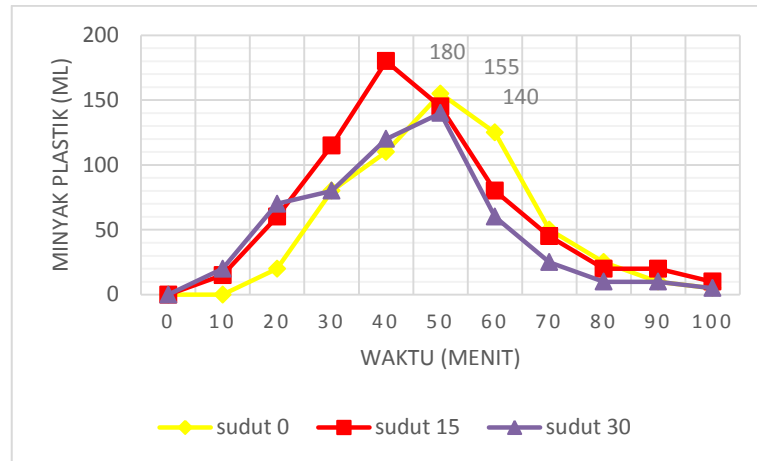
Jika dibandingkan dengan pengujian Wijaya (2017) dengan debit 18 LPM menggunakan konfigurasi aliran *parallel flow* dan tanpa dilakukan pengisolasian pada reaktor. Sudut 30<sup>o</sup> minyak yang dihasilkan adalah 520 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,43 kg.

Perbandingan percobaan pada sudut 0<sup>o</sup>, 15<sup>o</sup>, dan 30<sup>o</sup> diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* dan dilakukan pengisolasian pada reaktor menghasilkan minyak lebih banyak dan juga lebih efisiensi dalam penggunaan bahan bakar.

#### 4.4. Korelasi Waktu Terhadap Hasil Minyak

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara lama waktu yang penelitian dengan hasil minyak yang didapatkan. Hubungan antara lama waktu pirolisis dengan banyaknya minyak yang didapat adalah sebagai berikut:





Gambar 1 Grafik Korelasi Waktu Dengan Hasil Minyak

Grafik tersebut merupakan hasil dari data yang telah terkalibrasi. Gambar di atas menunjukkan bahwa hasil volume minyak terbesar untuk sudut 0° dengan debit 18 LPM dan jenis aliran *counter flow* didapatkan pada waktu antara menit 40-50 dengan hasil minyak pada menit tersebut yaitu 155 ml. Kenaikan yang paling signifikan yaitu setelah menit 30 sampai menit 50. Pada menit awal antara 0 - 20 minyak hanya keluar sedikit. Hal ini disebabkan oleh kemiringan kondensor yang dipakai yaitu 0°. Pada kemiringan ini asap yang telah terkondensasi menjadi minyak masih terperangkap di dalam kondensor. Hasil minyak terbanyak yaitu pada menit 50 yang menjadi titik puncak pirolisis. Setelah menit ke-60 tersebut plastik yang dibakar didalam reaktor sebagian sudah menjadi abu. Hal ini ditandai dengan penurunan jumlah produksi asap cair / minyak yang diperoleh. Terjadi penurunan hasil minyak yang signifikan pada menit 70 yaitu dari 125 ml ke 50 ml. Semakin lama hasil minyak semakin menurun bersamaan dengan habisnya plastik yang ada didalam reaktor pembakaran. Minyak yang dihasilkan sangat sedikit pada menit 100 yang menandai plastik yang dibakar sudah berubah menjadi abu.

Percobaan pirolisis dengan sudut 15° dengan debit 18 LPM. Dapat diamati bahwa hasil volume minyak terbesar didapatkan pada waktu antara menit 30 - 40 dengan hasil minyak yang didapat pada menit tersebut yaitu 180 ml. Kenaikan yang paling signifikan yaitu setelah menit 30 sampai menit 40, hasilnya yaitu 65 ml. Dalam percobaan menggunakan kemiringan 15° minyak yang dihasilkan cenderung lebih stabil di menit awal 30 - 40. Puncak produksi minyak terjadi di menit 40 dengan minyak 180 ml. Setelah menit 50 produksi minyak cenderung menurun, hingga menit 100 hanya didapat 5 ml saja. Hal ini menunjukkan bahwa plastik di dalam reaktor sudah menjadi abu.

Percobaan pirolisis dengan sudut 30° dapat dilihat kenaikan yang paling signifikan yaitu setelah menit 30 sampai menit 40, hasilnya yaitu dari 80 ml naik sampai 120 ml. Kemiringan kondensor sangat berpengaruh terhadap minyak yang dihasilkan. Percobaan dengan sudut 30° menghasilkan minyak yang konstan dan relatif banyak pada awal percobaan. Hal ini menunjukkan bahwa minyak yang telah terkondensasi langsung mengalir keluar dari kondensor karena gaya gravitasi. Minyak dihasilkan pada menit ke 10, setelah itu produksi meningkat sampai titik puncak pada menit ke 50 dengan hasil minyak 140 ml. Hasil minyak pada kemiringan 30° tidak sebanyak minyak pada percobaan sudut 15° dikarenakan kondensor yang terlalu miring sehingga asap mengalir terlalu cepat. Hal ini mengakibatkan asap yang belum terkondensasi sempurna terbuang lewat cerobong asap. Penurunan produksi minyak terjadi setelah menit 40, artinya plastik di reaktor sudah mulai berubah menjadi abu. Produksi minyak pada menit 90 - 100 hanya 5 ml.

#### 4.5. Korelasi Waktu terhadap Laju Pendinginan

Nilai laju perpindahan kalor/panas yang terjadi di dalam kondensor akan dihitung berdasarkan hasil pengamatan dalam penelitian 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 *counter flow*:

$$Q = m \cdot c (T_2 - T_3)$$

Dimana : q = perpindahan kalor

m = Laju masa fluida (kg/s) untuk debit 18 liter / menit = 0,3 kg/s

c = Kalor jenis air ( 4180 kg/ J °C)

T<sub>2</sub> = Suhu keluar fluida pendingin



$T_3$  = Suhu masuk fluida pendingin

Contoh:

Percobaan 1, menit 30. Diketahui :  $m = 0,3 \text{ kg/s}$

$$C = 4.180 \text{ J / Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 39,06^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 38,52^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c (T_3 - T_2) \\ &= 0,3 \text{ kg/s} \cdot 4.180 \text{ J / Kg } ^\circ\text{C} \cdot (39,06 - 38,52) ^\circ\text{C} \\ &= 657,05 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui jenis aliran mana yang paling baik antara aliran *counter flow* dengan *parallel flow* maka dicarilah nilai LMTD terlebih dahulu dari masing - masing aliran. Penelitian ini menggunakan jenis aliran *counter flow* sedangkan penelitian sebelumnya yaitu penelitian (Wijaya,2017) menggunakan jenis aliran *parallel flow*.

Aliran *counter flow*:

$$\text{LMTD}_{\text{CF}} = \frac{(T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{out}}) - (T_{h,\text{out}} - T_{c,\text{in}})}{\ln\left(\frac{(T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{out}})}{(T_{h,\text{out}} - T_{c,\text{in}})}\right)}$$

Contoh:

Percobaan 1, menit 30. Diketahui :  $T_{h,\text{in}} = 286,32^\circ\text{C}$

$$T_{h,\text{out}} = 40,32 ^\circ\text{C}$$

$$T_{c,\text{in}} = 39,06 ^\circ\text{C}$$

$$T_{c,\text{out}} = 38,52 ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD}_{\text{CF}} &= \frac{(286,32 - 38,52) - (40,32 - 39,06)}{\ln\left(\frac{(286,32 - 38,52)}{(40,32 - 39,06)}\right)} \\ &= \frac{(247,48 - 1,26)}{\ln\left(\frac{247,48}{1,26}\right)} \\ &= 46,63 \end{aligned}$$

Penelitian Wijaya (2017) menggunakan aliran *parallel flow*:

$$\text{LMTD}_{\text{PF}} = \frac{(T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}}) - (T_{h,\text{out}} - T_{c,\text{out}})}{\ln\left(\frac{(T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}})}{(T_{h,\text{out}} - T_{c,\text{out}})}\right)}$$

Contoh:

Percobaan 1, menit 30. Diketahui :  $T_{h,\text{in}} = 86,58 ^\circ\text{C}$

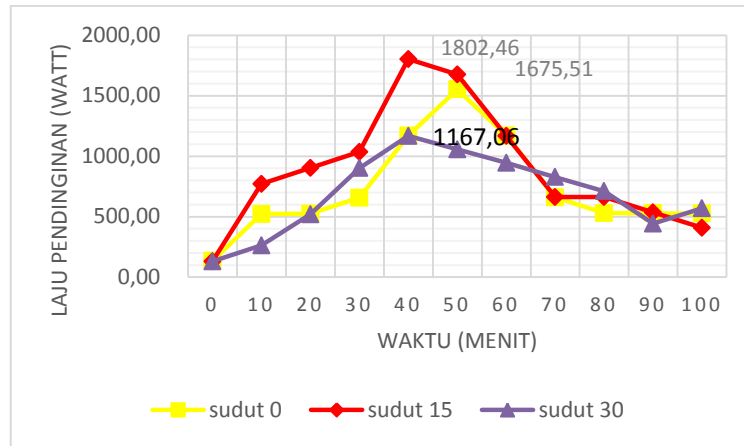
$$T_{h,\text{out}} = 35,08 ^\circ\text{C}$$

$$T_{c,\text{in}} = 28,20 ^\circ\text{C}$$

$$T_{c,\text{out}} = 28,51 ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD}_{\text{PF}} &= \frac{(86,58 - 28,20) - (35,08 - 28,51)}{\ln\left(\frac{(86,58 - 28,20)}{(35,08 - 28,51)}\right)} \\ &= \frac{(58,38 - 6,57)}{\ln\left(\frac{58,38}{6,57}\right)} \\ &= 23,72 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan aliran *counter flow* lebih baik dari aliran *parallel flow* karena nilai LMTD yang didapat lebih besar sehingga laju pendinginan yang terjadi lebih tinggi dan minyak dihasilkan juga lebih banyak.



Gambar 2 Grafik Korelasi Waktu terhadap Nilai Laju Pendinginan

Dengan teori rumus yang telah ada maka didapatkan gambar 2 di atas yang menunjukkan bahwa nilai laju perpindahan panas tertinggi terjadi pada percobaan dengan sudut 15° yang mencapai titik tertinggi perpindahan kalor 1802,46 Watt. Sedangkan percobaan dengan sudut 0° mempunyai titik perpindahan kalor tertinggi sebesar 1552,94 Watt. Percobaan dengan sudut 30° mempunyai titik perpindahan kalor tertinggi 1167,06 Watt. Perbedaan titik puncak perpindahan kalor ini dikarenakan sudut yang berbeda. Pada percobaan dengan sudut 0° asap yang mengalir ke kondensor lambat sehingga asap akan mengkondensat di pipa-pipa tembaga dan menghalangi air pendingin ketika mengalir mendinginkan pipa. Berbeda dengan percobaan dengan sudut 15°. Asap mengalir lancar dan ketika sudah menjadi minyak akan langsung mengalir turun ke tempat penampung minyak. Perpindahan kalor dari asap yang mengalir melewati pipa tembaga dengan air menjadi lebih baik. Sedangkan pada percobaan dengan sudut 30° asap yang mengalir melalui pipa berjalan terlalu cepat, sehingga ada asap yang belum sepenuhnya terkondensasi langsung keluar tanpa menjadi minyak.

#### 4.6. Korelasi Hasil Minyak dan Sisa Abu terhadap Bahan Pada Sudut Pengujian

Data yang dapat diambil yaitu dengan cara mengukur dahulu hasil minyak yang didapatkan dan sisa plastik yang menjadi abu seperti pada Tabel berikut:

Tabel 5 Persentase Hasil Minyak, Sisa Abu dan Gas

Sudut Kondensor	Plastik (gr)	Minyak (gr)	Abu (gr)	Pescentage Minyak (%)	Persentase Abu (%)	Persentase Gas (%)
0°	1000	428	169,9	42,8	16,99	40,21
15°	1000	516	145,9	51,6	14,59	33,81
30°	1000	407	173,6	40,7	17,36	41,94

Penelitian ini menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* dan dilakukan pengisolasian pada kondensor. Pada sudut 0° minyak yang dihasilkan mencapai 42,8 % dari 1 kg plastik yang dibakar hanya tersisa abu sebanyak 16,9 % dari plastik. Pada sudut 15° minyak yang dihasilkan mencapai 51,6% sisa abu sebanyak 14,6% dan pada sudut 30° minyak yang dihasilkan sebanyak 40,7% dan sisa abu lebih banyak yaitu 42% dari bahan plastik yang dibakar.

#### 4.7. Korelasi Hasil Minyak terhadap Bahan Bakar yang Terpakai

Data yang dapat diambil yaitu dengan cara mengukur dahulu hasil minyak yang didapatkan dan bahan bakar yang dipakai selama percobaan.

Efisiensi penggunaan bahan bakar dengan hasil produksi minyak yang diperoleh dapat dihitung dengan perhitungan.

$$\eta = \frac{m_{MP} \times nk_{MP}}{m_{LPG} \times nk_{LPG}}$$

Keterangan:

- $\eta$  = Efisiensi bahan bakar (%)
- $m_{MP}$  = Massa minyak pirolisis (gram)
- $m_{LPG}$  = Massa gas LPG (gram)

$n_{k_{MP}}$  = Nilai kalor minyak (Cal/g), didapat dari hasil uji kalor minyak plastik LDPE hasil pirolisis sebesar 10898,06 Cal/g  
 $n_{k_{LPG}}$  = Nilai kalor gas LPG (Cal/g), didapat dari standar gas LPG Pertamina sebesar 21000 BTU/lb = 11666,67 Cal/g (Sumber: Kuncoro *et al.*, 2016)

Efisiensi bahan bakar pada percobaan sudut 0°

Diketahui :  $m_{MP}$  = 428 gram  
 $m_{LPG}$  = 1340 gram  
 $n_{C_{MP}}$  = 10898,06 Cal/g  
 $n_{C_{LPG}}$  = 11666,67 Cal/g

$$\eta = \frac{m_{MP} \times n_{k_{MP}}}{m_{LPG} \times n_{k_{LPG}}}$$

$$\eta = \frac{428 \times 10898,06}{1340 \times 11666,67}$$

$$= 0,2983 \times 100\%$$

$$\eta = 29,83\%$$

Efisiensi bahan bakar pada percobaan sudut 15°

Diketahui :  $m_{MP}$  = 516 gram  
 $m_{LPG}$  = 166 gram  
 $n_{C_{MP}}$  = 10898,06 Cal/g  
 $n_{C_{LPG}}$  = 11666,67 Cal/g

$$\eta = \frac{m_{MP} \times n_{k_{MP}}}{m_{LPG} \times n_{k_{LPG}}}$$

$$\eta = \frac{516 \times 10898,06}{1340 \times 11666,67}$$

$$= 0,3597 \times 100\%$$

$$\eta = 35,97\%$$

Efisiensi bahan bakar pada percobaan sudut 30°

Diketahui :  $m_{MP}$  = 407 gram  
 $m_{LPG}$  = 1340 gram  
 $n_{C_{MP}}$  = 10898,06 Cal/g  
 $n_{C_{LPG}}$  = 11666,67 Cal/g

$$\eta = \frac{m_{MP} \times n_{k_{MP}}}{m_{LPG} \times n_{k_{LPG}}}$$

$$\eta = \frac{407 \times 10898,06}{1340 \times 11666,67}$$

$$= 0,2837 \times 100\%$$

$$= 28,37\%$$

Tabel 6 Perbandingan Efisiensi Bahan Bakar yang Terpakai dengan Penelitian (Wijaya, 2017)

Sudut (°)	Penelitian				Penelitian Wijaya			
	Hasil Minyak		Bahan Bakar Terpakai (gr)	Efisiensi Bahan Bakar (%)	Hasil Minyak		Bahan Bakar Terpakai (gr)	Efisiensi Bahan Bakar (%)
	Volume (ml)	Massa (gr)			Volume (ml)	Massa (gr)		
0	580	428	1340	29,83	540	414	1440	26,43
15	690	516	1340	35,97	590	451	1430	28,21
30	540	407	1340	28,37	520	392	1470	25,20

Dari tabel diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pengisolasian pada reaktor dapat meningkatkan efisiensi pemakaian bahan bakar. Selanjutnya untuk mengetahui nilai ekonomis dari hasil minyak pirolisis dengan bahan bakar yang digunakan maka dilakukan perhitungan niali ekonomisnya.

Untuk mengetahui penggunaan bahan bakar atau minyak pirolisis yang digunakan dapat dihitung dengan perhitungan.

$$\text{Harga per kilo joule} = \frac{\text{harga}}{\text{nilai ekonomis}}$$

$E_{LPG}$  = Nilai ekonomis LPG

$E_{MP}$  = Nilai ekonomis LPG

$m_{LPG}$  = Massa gas LPG (kg)

$m_{MP}$  = Massa minyak (kg)

$n_{KMP}$  = Nilai kalor minyak (Cal/g), didapat dari hasil uji kalor minyak plastik LDPE hasil pirolisis sebesar 10898,06 Cal/g = 45627.997537 kJ/kg

$n_{CLPG}$  = Nilai kalor gas LPG (Cal/g), didapat dari standar gas LPG Pertamina sebesar 11666,67 Cal/g = 48846.01388 kJ/kg

Ditanyakan: .....

1. Harga LPG per kilo joule?
2. Harga minyak hasil pirolisis per kilo kilo joule?

1. Harga LPG per kilo joule

Harga LPG 3 kg = Rp 20.000,00

$$\begin{aligned} E_{LPG} &= n_{CLPG} \times m_{LPG} \\ &= 48846,013 \text{ kJ/kg} \times 3 \text{ kg} \\ &= 146.538,03 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Harga 3 kg LPG = Rp 20.000,00

Ditanya harga LPG per kilo joule....?

$$\begin{aligned} \text{Harga per KJ} &= \frac{\text{Rp } 20.000}{146.538,03 \text{ kJ}} \\ &= \text{Rp } 0,1365 /\text{kJ} \end{aligned}$$

Jadi harga LPG per kilo joule yaitu Rp 0,1365.

2. Harga minyak hasil pirolisis per kilo joule

Harga Minyak Pirolisis = Rp 5.150,00

Hasil minyak pirolisis satu kali percobaan = 690 ml

Konsumsi LPG satu kali percobaan = 1,34 kg

$$\text{Untuk 1 kg LPG} = \frac{690 \text{ ml}}{1,34 \text{ kg}}$$

$$= 514,92 \text{ ml}$$

$$= 0,51492 \text{ l}$$

Harga MP = Rp 5150,00 × 0,51492 l

$$= \text{Rp } 2641,54$$

$$m_{MP} = V \times \rho$$

$$= 0,51492 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 764 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,394 \text{ kg}$$

Jadi untuk 1 kg LPG menghasilkan minyak sebanyak 0,394 kg.

$$E_{LPG} = n_{KMP} \times m_{MP}$$

$$= 45627.99 \text{ kJ/kg} \times 0,394 \text{ k}$$

$$= 1797,82 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka harga per kilo joulanya} &= \frac{\text{Harga MP}}{E_{LPG}} \\ &= \frac{\text{Rp } 261,54}{1797,82 \text{ kJ}} \\ &= \text{Rp } 0,1458 /\text{kJ} \end{aligned}$$

Jadi harga Minyak pirolisis per kilo joule yaitu Rp 0,1458.

Jadi harga minyak per kilo joule sebesar Rp 34.905,417

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai ekonomis dari gas LPG lebih rendah dari minyak pirolisis. Maka jika minyak pirolisis ini dikembangkan lebih jauh lagi kurang efisien pada bahan bakar yang digunakan pada penelitian pirolisis karena pemakaian LPG tidak sebanding dengan minyak pirolisis yang dihasilkan.

#### 4.8. Karakteristik Hasil

Setelah dilakukan penelitian terhadap minyak hasil pirolisis plastik LDPE diperoleh beberapa karakteristik.

Tabel 7 Perbandingan Karakteristik Hasil Minyak Plastik dengan Penelitian (Wijaya, 2017)

No	Parameter	Nilai	
		Penelitian	Penelitian Wijaya
1	Densitas	0,765 gr/ml	0,774 gr/ml
2	Viskositas	3,1 mm <sup>2</sup> /s	3-3,2 mm <sup>2</sup> /s
3	Nilai kalor	10.898,06 Cal/gr	10.727,59 Cal/gr
4	flash point	32-35 °C	33- <sup>37</sup> C

Jika dibandingkan dengan penelitian (Wijaya, 2017) karakteristik minyak hasil pirolisis yang didapat tidak jauh berbeda karena bahan yang digunakan sama yaitu sampah plastik LDPE.

Tabel 8 Perbandingan Karakteristik BBM

No	Karakteristik	Minyak Pirolisis	Minyak Tanah	Solar	Premium
1	Viskositas (mm <sup>2</sup> /s)	3,1	1,4	2 - 5	0,8
2	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	765	800	815 - 870	680
3	Nilai kalor (cal/gr)	10.898,06	10.748	9.240	11.414,45
4	Flash point (°C)	33-35	43 - 45	60	38-72

Dari Tabel diatas dapat diamati bahwa karakteristik minyak plastik hasil pirolisis mendekati premium dan solar. Jika minyak pirolisis dijadikan bio premium viskositas dari minyak pirolisis terlalu tinggi. Maka jika viskositas terlalu berdampak pada sistem korburasi pada kendaraan. Saat karburasi atau pengkabutan bahan bakar memiliki nilai viskositas yang tinggi maka bahan bakar akan susah menjadi butiran - butiran kecil sehingga laju kendaraan menjadi tidak lembut. Sedangkan jika minyak pirolisis dijadikan bio solar akan mempengaruhi kompresi pada ruang bakar karena nilai *flash point* terlalu rendah. *Flash point* yang terlalu rendah mengakibatkan bahan bakar menyala terlalu cepat sehingga langkah kompresi menjadi lebih cepat dan bahan bakar menjadi boros. Maka atas dasar perbandingan tersebut minyak pirolisis lebih baik dijadikan biosolar karena dampaknya tidak sebesar jika dijadikan bio premium.

#### 4.9. Perbandingan Dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

Berikut adalah perbandingan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang mencakup bahan, suhu, waktu, hasil dan konsumsi bahan bakar. Perbandingan antara penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 9 Perbandingan dengan penelitian lain

Peneliti	Bahan	Suhu	Waktu	Hasil
Sudut 0° Sudut 15° Sudut 30°	1 kg LDPE	300 °C – 350 °C	100 menit	580 ml 690 ml 540 ml
Kadir	500 (PP) 500 (HDPE) 500 (PET)	300 °C 415 °C 400 °C	-	484 403 447
Gaurav dkk.	300 gr PP + 300 gr LDPE	300 °C - 500 °C	-	90 % minyak 4% abu
Sigit Haryadi	500 gr HDPE	300 °C	17,5 menit	400 ml
Nurdianto	1 Kg botol plastik	200°C	-	250 ml

## 5. KESIMPULAN

Setelah melakukan percobaan pirolisis plastik LDPE dengan total 3 kg dimana setiap percobaan menggunakan 1 kg sampah plastic LDPE dengan debit 18 LPM dan variasi kemiringan sudut kondensor  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$  menggunakan aliran air dalam kondensor yaitu aliran air berlawanan dengan laju uap (*counter flow*) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada percobaan pirolisis plastik LDPE sebanyak 1 kg dengan debit air pendingin 18 LPM dan sudut kondensor  $0^{\circ}$  dan suhu pirolisis  $300^{\circ}\text{C}$ - $350^{\circ}\text{C}$  menghasilkan minyak plastik total 580 ml, percobaan dengan sudut  $15^{\circ}$  menghasilkan minyak plastik sebanyak 690 ml, dan percobaan dengan sudut  $30^{\circ}$  menghasilkan minyak plastik sebanyak 540 ml.
2. Persentase hasil minyak tertinggi didapat pada percobaan dengan sudut  $15^{\circ}$  dengan 51,6% minyak dan 14,6% abu. Sedangkan pada percobaan  $0^{\circ}$  mendapatkan 42,8% minyak dan 16,9% abu dan pada percobaan  $30^{\circ}$  mendapatkan 40,7% minyak dan 17,3% abu.
3. Pada percobaan sudut  $0^{\circ}$  terjadi perpindahan kalor tertinggi pada 1552,94 Watt, sedangkan pada percobaan  $15^{\circ}$  terjadi perpindahan kalor tertinggi 1802,46 Watt dan pada percobaan  $30^{\circ}$  terjadi perpindahan kalor tertinggi 1167,06 Watt.
4. Efisiensi bahan bakar yang terpakai pada sudut  $0^{\circ}$  yaitu 29,83%, pada sudut  $15^{\circ}$  efisiensi bahan bakar yang terpakai yaitu 35,97% ,dan efisiensi bahan bakar yang terpakai pada sudut  $30^{\circ}$  yaitu 28,37%.
5. Karakteristik minyak plastik LDPE dari hasil pirolisis setelah dilakukan pengujian didapatkan nilai densitas sebesar 0,765 gr/ml, nilai viskositas sebesar 3,1 mm<sup>2</sup>/s, nilai kalor sebesar 10.898,06 Cal/gr, dan *flashpoint* sebesar  $32$ - $35^{\circ}\text{C}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, Muhamad. 2017. Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Kondensor ( $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$ ) terhadap Hasil Proses Pirolisis Plastik LDPE Pada Debit Air Pendingin 6 LPM. Yogyakarta: Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer a Practical Approach*. New York: Mc Graw Hill.
- Dickson, 2017. <http://ilmupengetahuanumum.com/jenis-jenis-plastik-arti-kode-daur-ulang-plastik/> (diakses pada 19 Maret 2018).
- Dwi, krisna. 2013 <http://ilmupengetahuanumum.com/jenis-jenis-plastik-arti-kode-daur-ulang-plastik/> (diakses pada 19 Maret 2018).
- Kadir. 2012. *Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair*. Kendari: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Haluoleo. Vol. 3, No 2, Mei 2012.
- Koesoemadinata, R.P. 1980. Geologi Minyak dan Gas Bumi. ITB: Bandung.
- Putra, Aprian Ramadhan Perdana, 2011, "Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak dengan Proses Pirolisis", Skripsi Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Rana, Arya Jayeng 2015, "Pengaruh Viskositas Berbagai Minyak Sawit Untuk Oli Peredam *Shock Absorber* Sepeda Motor", Skripsi. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin. Padang: Universitas Andalas.
- Rifai, Nur Muhammad. 2018. Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Kondensor ( $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$ ) terhadap Hasil Proses Pirolisis Plastik Aluminium Foil Pada Debit Air Pendingin 6 LPM. Yogyakarta: Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Santoso, Joko. 2010. Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompiler Berbahan Bakar Minyak Pirolisis Dari Sampah Plastik. Skripsi. Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Suprptono, 2004. Bahan Bakar dan Pelumas. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Surono, Budi Untoro. 2013. Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Janabadra: Yogyakarta.
- Surono, Budi Untoro., dan Ismanto. 2016. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Janabadra: Yogyakarta.
- Sudhir B. Desai dan Chetan K. Galage. *Production and Analysis of Pyrolysis oil from waste plastic in Kolhapur city*.
- Vasile, C. 2000. *Degradation and Decomposition. Institute of Macromolecular Chemistry. Lasi. Rumania*.
- Wijaya, Danang Hari. 2017. Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Kondensor ( $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$ ) terhadap Hasil Proses Pirolisis Plastik LDPE dengan Debit Air Pendingin 18 LPM. Yogyakarta: Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- 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.