

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Proses pirolisis plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) selama 100 menit dengan pengambilan data setiap 10 menit.

Ket : T_1 = temperatur asap masuk kondensor

T_2 = temperatur air pendingin masuk kondensor

T_3 = temperatur air pendingin keluar

T_4 = temperatur asap keluar dari kondensor

TR = temperatur rata-rata pada reaktor

Q = laju perpindahan kalor pada kondensor

Pengujian pertama debit 6 LPM pada sudut 0° , konsumsi gas sebesar 1,32 kg menghasilkan minyak sebanyak 430 ml. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Data Percobaan Sudut 0°

Debit 6 LPM, sudut 0°					TR rata- rata	Q (Watt)	V Minyak /10 menit	Konsumsi gas/10 menit (Kg)
Waktu interval (menit)	T1 ($^\circ\text{C}$)	T2 ($^\circ\text{C}$)	T3 ($^\circ\text{C}$)	T4 ($^\circ\text{C}$)				
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

Dari data pada Tabel 4.1 dapat diketahui proses pirolisis plastik memerlukan waktu 100 menit. Pada awal proses pirolisis menit 20-30 minyak mulai menetes sebanyak 20 ml, hasil minyak tersebut belum maksimal dikarenakan bahan yang dipanaskan di dalam reaktor belum terbakar sepenuhnya. Proses pirolisis mencapai puncaknya pada menit 40-50 dengan hasil minyak 130 ml.

Setelah proses pirolisis mencapai puncak pemanasan, maka hasil minyak mulai menurun dimulai pada menit 50-60 dengan hasil minyak 100 ml. Hasil minyak semakin menurun dikarenakan plastik yang dipanaskan di dalam raktor mulai habis dan menjadi arang hingga tidak menetes lagi pada menit 100.

Pengujian ke dua debit 6 LPM pada sudut 15°, konsumsi gas sebesar 1,34 kg menghasilkan minyak sebanyak 610 ml. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Data Percobaan Sudut 15°

Debit 6 LPM, sudut 15					TR rata- rata	Q (Watt)	V Minyak /10 menit	Konsumsi gas /10 menit (Kg)
Waktu interval (menit)	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	1033,84	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

Data percobaan ke dua pada Tabel 4.2. dapat diketahui bahwa minyak dari proses pirolisis plastik mulai menetes pada menit 10-20 dengan hasil minyak 25 ml. Hasil minyak tersebut belum maksimal dikarenakan plastik yang dipanaskan di dalam reaktor belum terbakar sepenuhnya. Hasil minyak semakin meningkat pada puncak pirolisis yang terjadi pada menit 50-60 dengan hasil minyak 195 ml.

Setelah proses pirolisis mencapai puncak pemanasan, maka hasil minyak mulai menurun dimulai pada menit 60-70 dengan hasil minyak 100 ml. Hasil minyak semakin menurun dikarenakan plastik yang dipanaskan di dalam raktor mulai habis dan menjadi arang hingga tidak menetes lagi pada menit 100.

Pengujian pada percobaan ketiga dengan debit 6 LPM, sudut 30°, dan konsumsi gas sebesar 1,32 kg menghasilkan minyak 570 ml. Dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Hasil Percobaan Sudut 30°

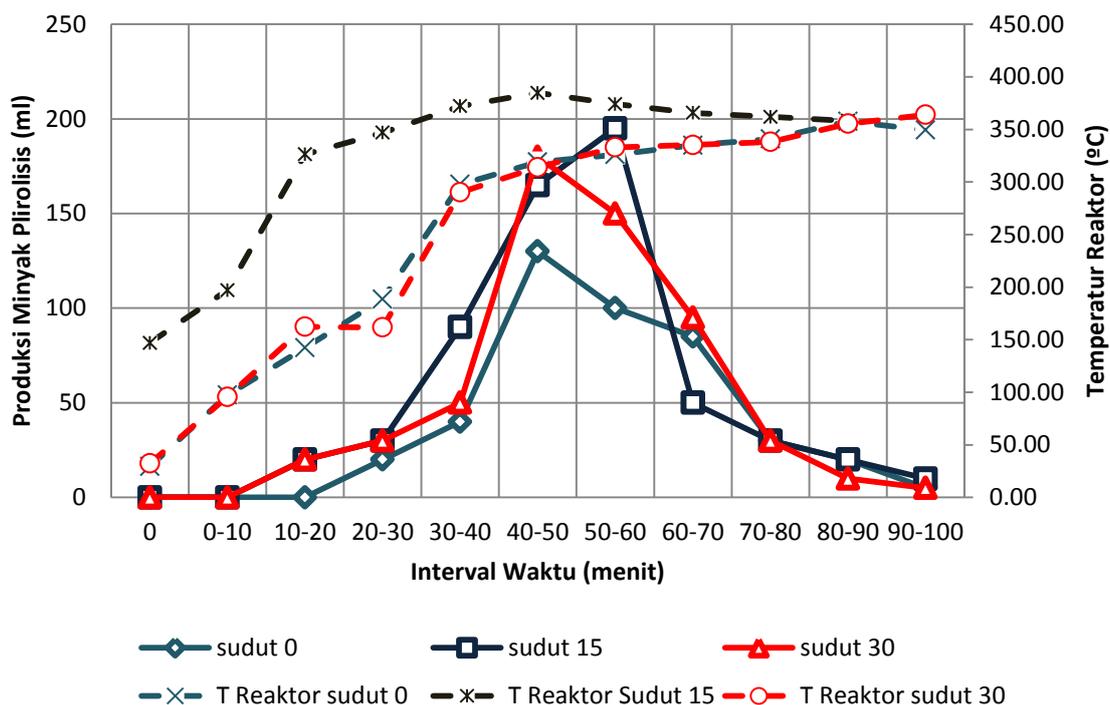
Debit 6 LPM, sudut 30					TR rata- rata	Q (Watt)	V Minyak /10 menit	Konsumsi gas/10 menit (Kg)
Waktu interval (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)				
0	51,03	29,92	29,73	32,00	32,36	247,97	0	0
0-10	65,61	30,84	30,64	31,28	95,70	250,79	0	0,12
10-20	91,54	31,55	31,24	30,97	162,33	379,94	20	0,14
20-30	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

Dari data pada Tabel 4.3 dapat diketahui proses pirolisis plastik memerlukan waktu 100 menit. Pada awal proses pirolisis menit 10-20 minyak mulai menetes sebanyak 15 ml, hasil minyak tersebut belum maksimal dikarenakan bahan yang dipanaskan di dalam reaktor belum terbakar sepenuhnya. Proses pirolisis mencapai puncaknya pada menit 40-50 dengan hasil minyak 130 ml.

Setelah proses pirolisis mencapai puncak pemanasan, maka hasil minyak mulai menurun dimulai pada menit 50-60 dengan hasil minyak 100 ml. Hasil minyak semakin menurun dikarenakan plastik yang dipanaskan di dalam raktor mulai habis dan menjadi arang hingga tidak menetes lagi pada menit 100.

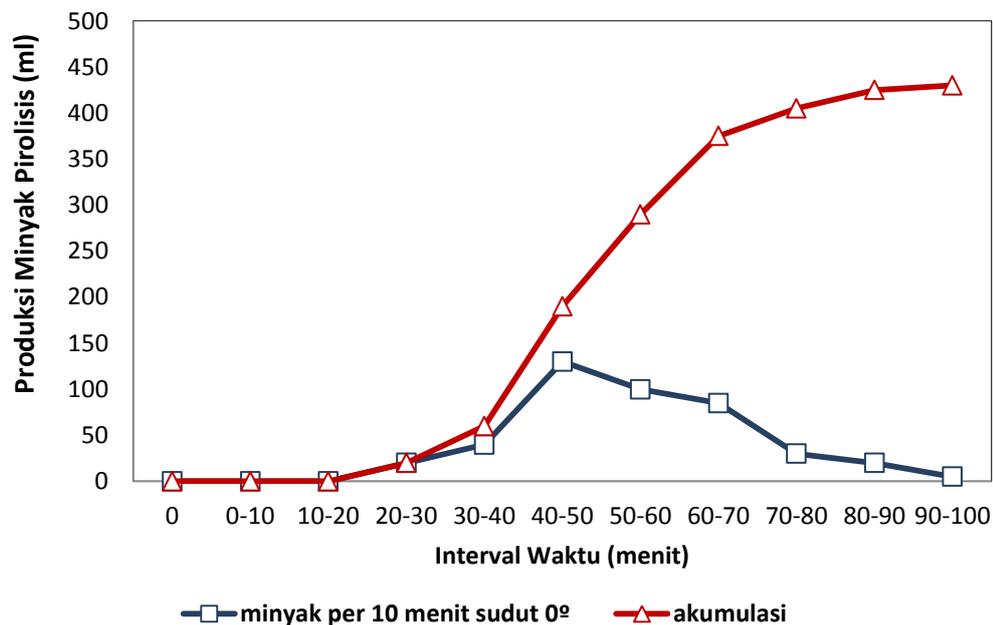
4.2 Korelasi Waktu Terhadap Hasil Minyak dan Temperatur Reaktor

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 4.1.



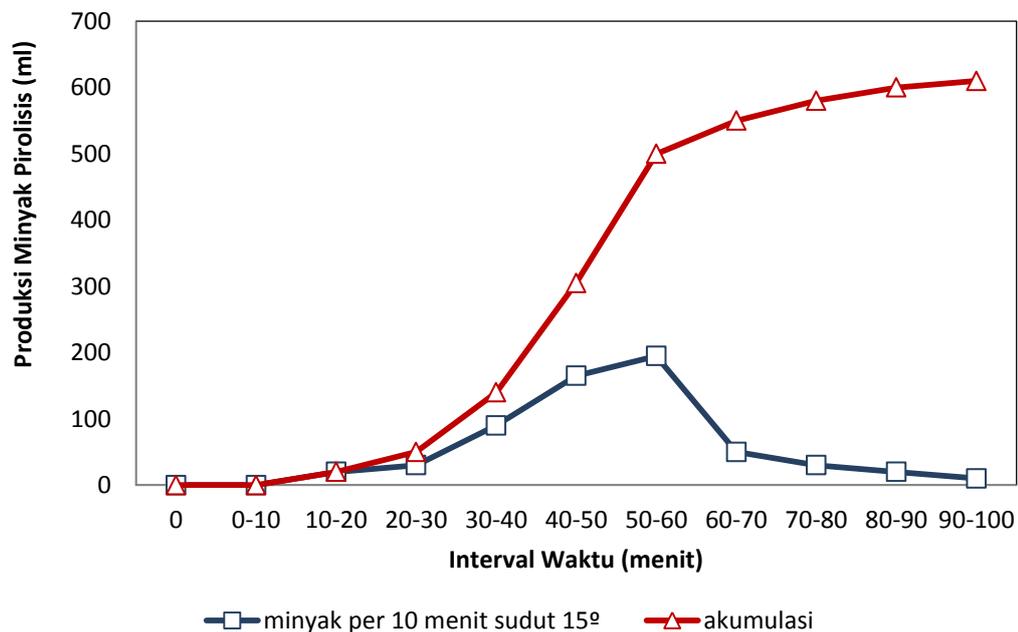
Gambar 4.1. Grafik Korelasi Waktu Terhadap Hasil Minyak dan Temperatur Reaktor

Gambar 4.1 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.



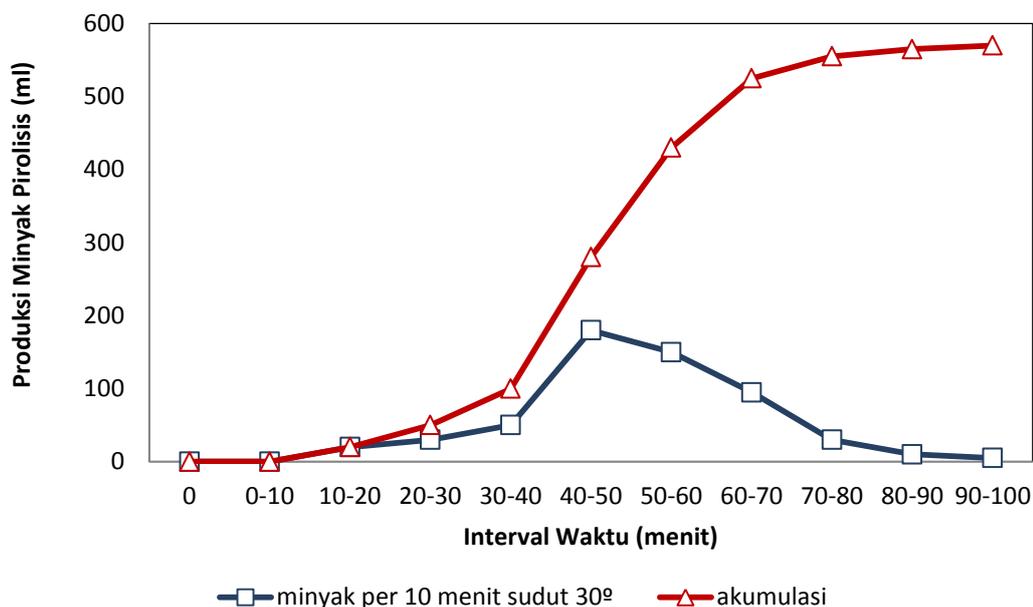
Gambar 4.2. Produksi hasil minyak, dengan posisi kondensor sudut 0°

Pada Gambar 4.2 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 di dalam 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 4.3. Produksi hasil minyak, dengan posisi kondensor sudut 15°

Pada Gambar 4.3 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 di dalam 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 4.4. Produksi hasil minyak, dengan posisi kondensor sudut 30°

Pada Gambar 4.4 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 di dalam kondensor.

4.3 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Untuk mengetahui dengan perbandingan sebelumnya maka perlu adanya pembahasan yang tepat mengenai penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Perbandingan Pengujian Pirolisis Plastik

Perbandingan				
Peneliti	Sudut	Temp. Mak (°C)	Bahan baku (gr)	Minyak yang dihasilkan (ml)
Riza Adnan (2018)	Sudut 0°	366	1000 LDPE	430
	Sudut 15°	398		610
	Sudut 30°	372		570
Andriyanto (2017)	Sudut 0°	327	1000 LDPE	600
	Sudut 15°	326		560
	Sudut 30°	324		500
Wicaksono (2017)	-	398	2000 PET	240
Ramadhan (2012)	-	400	500 LDPE	445
Pani (2017)	-	250	2000 LDPE	240
	-	300	2000 LDPE	260
Landi (2017)	-	350	1000 LDPE	140
	-	500	1000 LDPE	210
	-	700	1000 LDPE	365

Untuk mengetahui efisien alat pirolisis yang telah digunakan maka dibuat Tabel 4.4 tersebut. Dapat dilihat bahwa dengan bahan yang digunakan sama dan berat bahan sama pada percobaan sudut 0°, 15°, dan 30°. Namun demikian, pada penelitian yang dilakukan Andriyanto (2017) dengan menggunakan aliran *parallel flow* hasilnya setiap sudut berbeda jika dibandingkan dengan penelitian ini yang menggunakan aliran *counter flow*. Pada penelitian tersebut hasil minyak yang paling besar pada sudut 0° sedangkan pada penelitian ini hasil minyak terbesar pada sudut 15°. Dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu maka hasil minyak pirolisis jika diproses menggunakan variasi orientasi sudut kondensor hasilnya lebih maksimal. Hal ini disebabkan karena temperatur yang dihasilkan pada penelitian Wicaksono

(2017) temperatur tidak stabil yang diakibatkan dari pipa bawah kondensor yang terlalu dingin dan pada saat pengujian sedang turun hujan yang berakibat pada hasil minyak yang didapatkan. Kemudian penelitian yang dilakukan Ramadhan (2012) hasil yang didapatkan dari percobaan sudut 0° , 15° , dan 30° secara keseluruhan juga lebih tinggi dikarenakan bahan yang digunakan oleh peneliti tersebut lebih sedikit, karena bahan juga mempengaruhi hasil minyak yang didapatkan. Hasil studi yang dilakukan Pani (2017) dapat dilihat bahwa hasil yang didapatkan secara keseluruhan lebih sedikit dan bahan yang digunakan lebih banyak dibandingkan dengan percobaan pada sudut 0° , 15° , dan 30° tetapi yang membedakan dari hasil yang didapatkan adalah dari bahan pemanasannya peneliti tersebut hanya menggunakan briket arang. Dengan pemanasan yang tidak sempurna maka temperatur yang dihasilkan tidak bisa konstan dan sulit untuk mendapatkan hasil yang baik. Hasil minyak pirolisis yang didapatkan Landi (2017) pada penelitian yang dilakukan masih kurang maksimal dibanding dengan percobaan pada sudut 0° , 15° , dan 30° . Desain alat yang digunakan untuk proses pirolisis mempengaruhi hasil yang didapatkan karena pipa keluar asap dari reaktor dibuat melengkung ke bawah dan hal tersebut berbanding terbalik dari sifat asap.

4.4 Korelasi Waktu Terhadap Laju Perpindahan Panas

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

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

Dimana : q = perpindahan kalor

m = Laju masa fluida (kg/s) untuk debit 6 liter / menit = 0,1 kg/s

c = Kalor jenis air (4180 kg / J °C)

T_2 = temperatur keluar air pendingin

T_3 = temperatur masuk air pendingin

Contoh :

Percobaan 2, menit 40-50. Diketahui : m = 0,1 kg/s

$$c = 4.180 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 37,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 36,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} q &= m \cdot c (T_2 - T_3) \\ &= 0,1 \text{ kg/s} \cdot 4.180 \text{ J / kg } ^\circ\text{C} \cdot (37,74 - 36,91) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 1033,84 \text{ Watt} \end{aligned}$$

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.

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 2, menit 10. Diketahui : $T_{h,\text{in}} = 172,17 \text{ } ^\circ\text{C}$

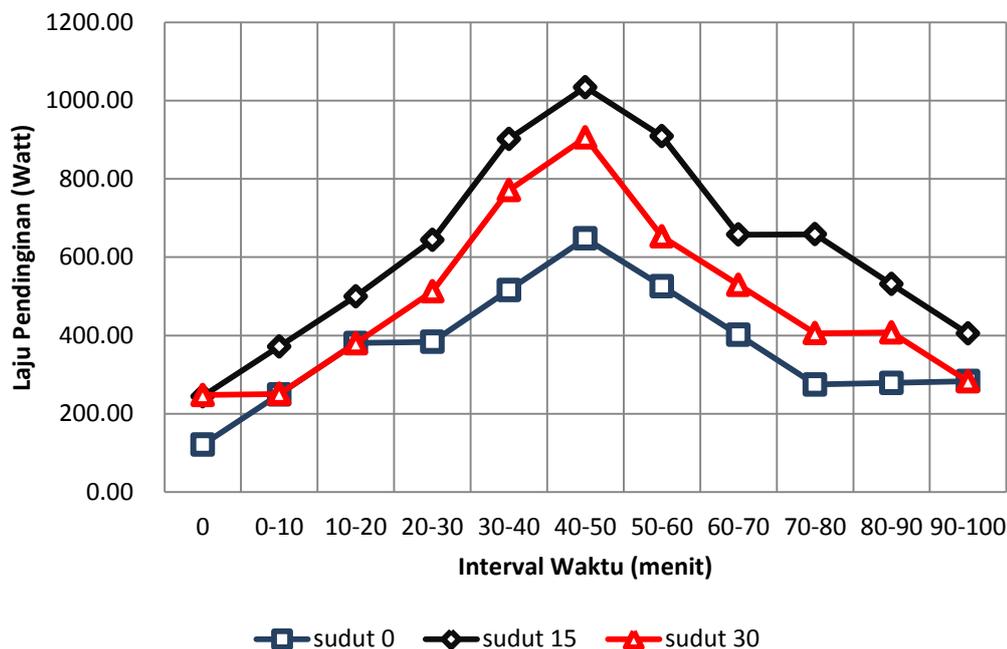
$$T_{h,\text{out}} = 31,79 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{c,\text{in}} = 28,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{c,\text{out}} = 28,61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{LMTD}_{\text{CF}} &= \frac{(172,17 - 28,61) - (31,79 - 28,91)}{\ln\left(\frac{(172,17 - 28,61)}{(31,79 - 28,91)}\right)} \\ &= \frac{(143,56 - 2,88)}{\ln\left(\frac{143,56}{2,88}\right)} \\ &= 35,98 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui korelasi waktu terhadap nilai laju perpindahan panas dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik Korelasi Waktu Terhadap Nilai Laju Perpindahan panas

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.

4.5 Korelasi Hasil Minyak dan Sisa Arang Pada Bahan

Data yang diperoleh dapat diambil dengan cara mengukur terlebih dahulu hasil minyak yang didapatkan dan sisa plastik yang menjadi abu seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Persentase Hasil Minyak Dan Sisa Arang

Sudut (°)	Masa minyak (gr)	Masa plastik (gr)	Persentase minyak (%)	Persentase arang (%)	Persentase Gas (%)
0	323	1.000	32,3	18,4	49,3
15	466	1.000	46,6	14,2	39,2
30	408	1.000	40,8	15,8	43,4

Dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara hasil minyak dengan sisa arang yang dihasilkan dalam bahan 1 kg plastik LDPE. Dalam percobaan yang dilakukan dengan melihat hasil minyak yang didapat maka semakin banyak volume minyak yang didapatkan maka arang yang dihasilkan semakin sedikit, dan apabila volume minyak yang didapatkan sedikit maka sisa arang semakin banyak. Inilah korelasi yang terjadi seperti pada sudut 0° volume minyak yang didapatkan hanya 32,3% maka arang yang dihasilkan sebesar 18,4% berbanding dengan percobaan pada sudut 15° dari 1 kg pemanasan plastik menghasilkan minyak sebesar 46,6% dan sisa arang pemanasan sangat rendah yaitu 14,2%. Dapat dilihat bahwa pada sudut 0° dan 30° presentase gas yang tidak dapat terkondensasi masih cukup banyak, jika dibandingkan dengan presentase hasil minyak pirolisis yang didapatkan.

4.6 Karakteristik Hasil Minyak Pirolisis

Minyak hasil percobaan pirolisis plastik mempunyai karakteristik fisik untuk mengetahui sifat dari bahan bakar cair tersebut seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. 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	Flash Point (°C)	32,6	60,2	52	43

Karakteristik pada Tabel 4.6. 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 112297,4 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.