

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Sudut kondensor dalam penelitian ini bervariasi yaitu : 0° , 15° , dan 30° serta aliran air dalam kondensor yaitu aliran air searah dengan laju uap (*parallel flow*) dengan busa poliuretan (*polyurethane foam*) dari plastik kresek hitam dengan debit air pendingin 18 LPM. Data dan pembahasan dimulai dari percobaan pirolisis busa poliuretan.

4.2 Data Terkalibrasi

4.2.1 Percobaan 1, Debit 18 LPM Sudut 0°

Pengujian pada debit 18 LPM, sudut 0° minyak yang dihasilkan adalah 349 ml. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.1. berikut :

Tabel4.1 Data percobaan sudut 0°

Debit 18 LPM, sudut 0° , berat gas 1,44 kg							Minyak /10 menit (ml)	akumulasi minyak (%)
waktu (menit)	T1 ($^{\circ}$ C)	T2 ($^{\circ}$ C)	T3 ($^{\circ}$ C)	T4 ($^{\circ}$ C)	T5 ($^{\circ}$ C)	Q (Watt)		
0	30.8	32.4	32.6	31.3	34.1	0.00	0	0,00
10	33.8	29.3	29.5	31.4	188.3	135.09	0	0,00
20	51.5	32.4	32.73	29.7	240.5	290.42	12	3,44
30	53.1	32	32.4	30	286.8	380.54	38	14,33
40	56.9	32.1	32.7	30.7	302.0	634.14	142	55,01
50	54.3	29	29.5	30.7	308.9	516.90	65	73,64
60	59	30.2	30.7	30	312.5	513.14	48	87,39
70	43.7	30.6	30.9	30.5	313.3	257.97	23	93,98
80	42.4	33.4	33.7	30.2	320.6	249.19	9	96,56
90	41.2	34.2	34.5	30.6	316.7	246.69	7	98,57
100	40.8	36.1	36.4	30.7	314.6	240.73	5	100,00

Percobaan pertama menggunakan bahan 1 kg busa poliuretan (*polyurethane foam*) yang dipotong dengan ukuran sekitar 10cm x 10cm. Pembakaran dilakukan dengan kompor gas yang disesuaikan suhunya antara 300 °C -350°C. Minyak mulai menetes pada menit ke 18 dan terus meningkat pesat pada menit ke 40, kemudian produksi minyak menurun drastis. Pada menit ke 100 minyak menetes sangat lambat dan hanya menghasilkan 5 ml. Total minyak yang didapat selama percobaan pirolisis 0° adalah 349 ml. Terdapat sisa minyak pada reaktor bercampur dengan abu menyebabkan hasil minyak kurang maksimal.

4.2.2 Percobaan 2, debit 18 LPM sudut 15°

Pengujian pada debit 18 LPM, sudut 15° menghasilkan minyak sebanyak 578 ml. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Percobaan Sudut 15°

Debit 18 LPM, sudut 15°, berat gas 1,47 kg							minyak /10 menit (ml)	akumulasi minyak (%)
Waktu (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Q (Watt)		
0	26	28.4	28.4	26.4	30.8	0.00	0	0,00
10	36.7	28.6	28.8	26.7	195.7	137.29	0	0,00
20	172.2	29.3	29.6	26	246.5	246.05	67	11,59
30	188.8	31.1	31.7	29.3	292.2	637.27	264	57,27
40	64.2	31.6	32.1	29.5	308.9	508.75	138	81,14
50	51.2	32.4	32.8	29.5	304.8	379.28	55	90,66
60	47.1	32.6	33	28.9	316.0	378.66	23	94,64
70	45	32.6	32.9	28.8	324.9	251.70	14	97,06
80	43.9	33.3	33.6	28.7	314.3	249.51	10	98,79
90	42.6	34.1	34.4	28.7	318.1	247.00	4	99,48
100	41	34.5	34.7	28.5	317.2	118.79	3	100,00

Percobaan kedua pada pirolisis busa poliuretan menggunakan debit 18LPM dan sudut kemiringan kondensor 15°. Suhu pembakaran dijaga pada 300°C -390°C. Minyak mulai menetes pada menit ke 14 dan meningkat drastis pada menit ke 30 dan berangsur menurun, pada menit ke 60 produksi minyak mengaloi penurunan drastis dan menetes sangat lambat. Total produksi minyak pada sudut 15° mencapai 578 ml. Tidak ada minyak yang tersisa di kondensor, minyak mengalir lancar ke penampung karena kondensor dimiringkan 15°.

4.2.3 Percobaan 3, debit 18 LPM sudut 30°

Pengujian pada debit 18 LPM, sudut 30° menghasilkan minyak sebanyak 540 ml. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Data Percobaan Sudut 30°

Debit 18 LPM, sudut 30°, berat gas 1,43 Kg							Minyak /10 menit (ml)	akumulasi minyak (%)
waktu (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	Q (Watt)		
0	33.8	31.3	31.3	33.9	37.6	0.00	0	0,00
10	68.1	31.3	31.5	34.3	224.5	128.82	16	2,96
20	181.9	36.2	36.6	36.5	281.6	367.37	85	18,70
30	59.8	36.6	37.2	37.2	309.1	620.03	230	61,30
40	54.8	38.8	39.2	37.7	310.2	359.22	125	84,44
50	53.8	38.7	39.1	37.4	314.3	359.53	36	91,11
60	49.9	39	39.3	34.9	311.5	231.64	24	95,56
70	48.7	38.9	39.2	38	327.9	231.95	10	97,41
80	48.4	38.5	38.8	37.2	322.6	233.21	8	98,89
90	47.5	37.6	37.8	38	319.7	109.7	3	99,44
100	48.4	36	36.2	375	320.2	114.09	3	100,00

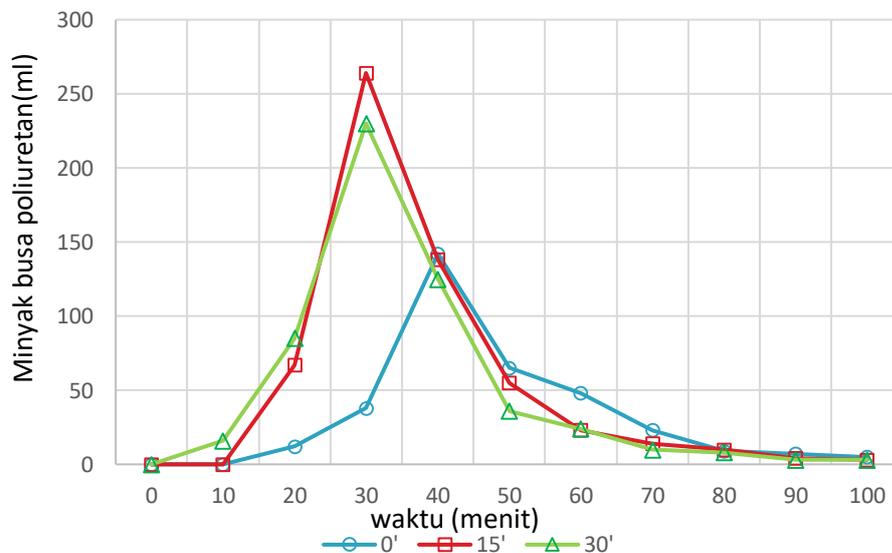
Pada percobaan ketiga pirolisis menggunakan debit 18LPM dan sudut kemiringan kondensor 30°. Minyak mulai menetes pada menit ke 6. Total minyak

yang didapat adalah 540ml. Dengan sudut kemiringan 30° minyak langsung mengalir ke penampung dengan lancar, tetapi laju asap yang melewati kondensor menjadi lebih cepat menuju keluar sehingga pengembunan menjadi tidak maksimal.

Hasil dari ketiga percobaan di atas akan ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan dan korelasi antara waktu, minyak yang dihasilkan dan perpindahan kalor yang terjadi.

4.3 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 4.1. Grafik Korelasi Waktu Dengan Hasil Minyak

Grafik tersebut merupakan hasil dari data yang telah terkalibrasi. Gambar 4.1 di atas menunjukkan bahwa hasil volume minyak terbesar untuk sudut 0° dengan debit 18 LPM dan jenis aliran *parallel flow* didapatkan pada waktu antara menit 30-40 dengan hasil minyak pada menit tersebut yaitu 142 ml. Kenaikan yang paling signifikan yaitu setelah menit 30 sampai menit 40. Pada menit awal

antara 0-10 tidak ada minyak yang dihasilkan. Minyak dihasilkan pada menit ke 20 sebanyak 12 ml. 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 40 yang menjadi titik puncak pirolisis. Setelah menit ke-50 tersebut busa poliuretan 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 60 yaitu dari 142 ml ke 48 ml. Semakin lama hasil minyak semakin menurun bersamaan dengan habisnya busa poliuretan yang ada didalam reaktor pembakaran. Minyak yang dihasilkan sangat sedikit pada menit 100 yang menandai plastik yang dibakar sudah berubah menjadi abu.

Selain pada sudut 0° analisa juga pada sudut 15° dengan debit 18 LPM. Dapat diamati bahwa pada menit 0-10 belum ada minyak yang dihasilkan. Minyak baru dihasilkan pada menit ke 20 sebanyak 67 ml, dan mengalami peningkatan yang signifikan pada menit ke 30 dengan hasil minyak sebanyak 264 ml. Dalam percobaan menggunakan kemiringan 15° minyak yang dihasilkan cenderung lebih stabil dan mengalami peningkatan signifikan pada menit ke 30 dan berangsur turun hingga menit ke 100. Puncak produksi minyak terjadi di menit 30 dengan minyak 264 ml. Setelah menit 40 produksi minyak cenderung menurun, hingga menit 100 hanya didapat 3 ml saja. Hal ini menunjukkan bahwa busa poliuretan di dalam reaktor sudah menjadi abu.

Percobaan pirolisis dengan sudut 30° dapat dilihat kenaikan yang paling signifikan yaitu setelah menit 10 sampai menit 30, hasilnya yaitu dari 16 ml naik sampai 230 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 6, setelah itu produksi meningkat sampai titik puncak pada menit ke 30 dengan hasil minyak 230 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. Terjadi penurunan yang signifikan pada produksi minyak setelah menit 40 dari 125 ml menjadi 36 ml dan terus mengalami penurunan pada menit ke 100 dengan jumlah minyak sebanyak 3 ml, artinya busa poliuretan di reaktor sudah mulai berubah menjadi abu.

4.4 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 *parallel flow* :

$$q = m.c (T_3 - T_2) \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana : q = perpindahan kalor

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

(1 liter/menit = 0,017 kg/s)

c = Kalor jenis air (4180 J / Kg °C)

T₃ = Suhu masuk fluida pendingin

T₂ = Suhu keluar fluida pendingin

Contoh :

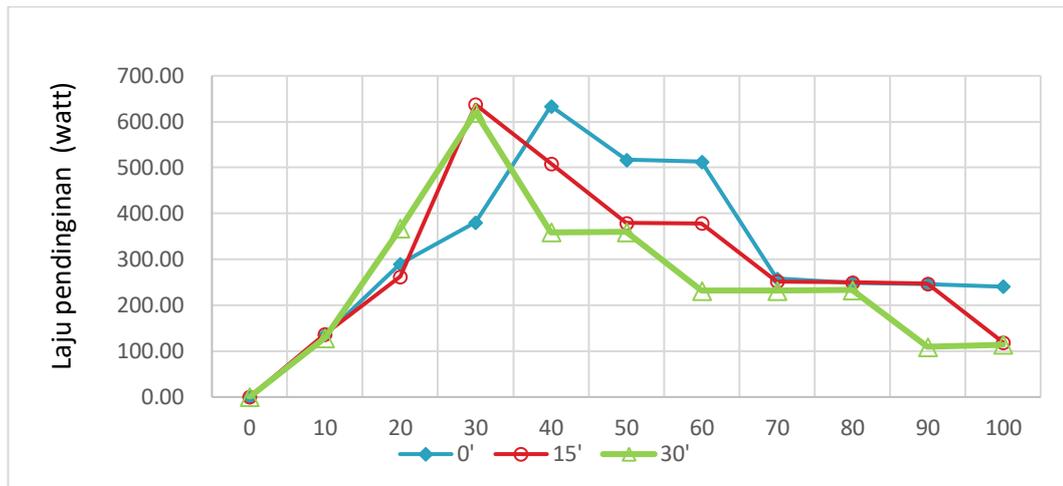
Percobaan 1, menit 50. Diketahui : m = 0,3 kg/s

c = 4180 J / Kg °C

T₃ = 29,3203 °C

T₂ = 28,9081 °C

$$\begin{aligned} q &= m.c (T_3 - T_2) \\ &= 0,3 \text{ kg/s} \cdot 4180 \text{ J / Kg } ^\circ\text{C} \cdot (29,3203 - 28,9081) ^\circ\text{C} \\ &= 757.64 \text{ Watt} \end{aligned}$$



Gambar 4.2. Grafik Korelasi Waktu terhadap Nilai Laju Pendinginan

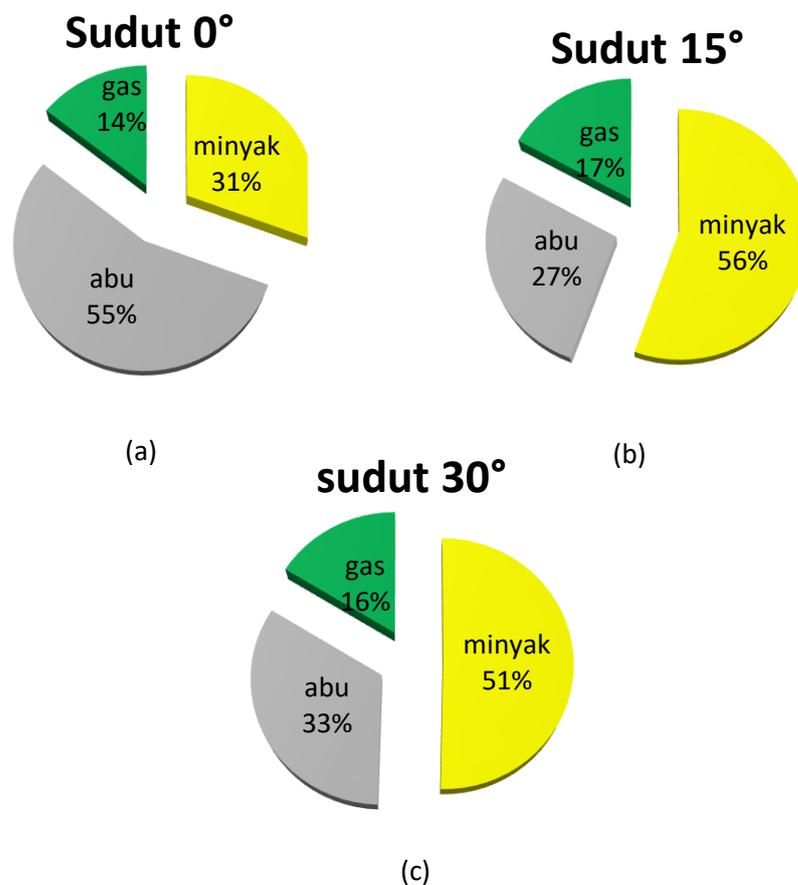
Dengan teori rumus yang telah ada maka didapatkan gambar 4.2 di atas, dan menunjukkan bahwa nilai laju perpindahan panas tertinggi terjadi pada percobaan dengan sudut 15° yang mencapai titik tertinggi perpindahan kalor $637,27$ Watt. Sedangkan percobaan dengan sudut 0 mempunyai titik perpindahan kalor tertinggi sebesar $634,15$ Watt. Dan percobaan dengan sudut 30 mempunyai titik perpindahan kalor tertinggi $620,03$ watt. Perbedaan titik puncak perpindahan kalor ini dikarenakan sudut yang berbeda. Pada percobaan 0 asap yang mengalir ke kondensor lambat sehingga asap akan menondensat di pipa -pipa tembaga dan menghalangi air pendingin ketika mengalir mendinginkan pipa. Berbeda dengan percobaan 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 sudut 30° asap yang mengalir melalui pipa berjalan terlalu cepat, sehingga ada asap yang belum sepenuhnya terkondensasi malah terlalu cepat keluar tanpa menjadi minyak.

4.5 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 busa poliuretan yang menjadi abu seperti pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Presentase Hasil Minyak, Sisa Abu dan Gas

Sudut kondensor	Plastik (gr)	Minyak (gr)	Abu (gr)	Persentase Minyak(%)	Persentase Abu (%)	Persentase gas (%)
0 ⁰	1000	306	550	30,6	55	14,4
15 ⁰	1000	555	274	55,5	27,4	17,05
30 ⁰	1000	504	333	50,4	33,3	16,03



Gambar 4.3 Grafik persentase minyak dan sisa abu dari setiap percobaan

(a) sudut 0⁰, (b) sudut 15⁰, (c) sudut 30⁰

Dari Gambar Grafik 4.3 dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat korelasi antara hasil minyak dengan sisa abu yang didapatkan dalam bahan 1 kg busa poliuretan. Bisa diamati pada ketiga percobaan tersebut, Jika minyak yang didapat semakin banyak, maka abu yang didapat semakin sedikit. Hal ini menunjukkan sistem yang sempurna karena asap yang dihasilkan lebih banyak menjadi minyak dan juga tidak terbuang ke lingkungan. Inilah korelasi yang terjadi seperti pada sudut 0° minyak yang dihasilkan mencapai 30,6 % dari 1 kg busa poliuretan yang dibakar tersisa abu sebanyak 55 % dari busa poliuretan. Sebanding dengan hal itu pada sudut 15° minyak yang dihasilkan 55,5 % dan sisa abu lebih sedikit yaitu 27,4 % dari bahan busa poliuretan yang dibakar. Kesimpulan yang didapat dari percobaan pirolisis dengan debit 18 LPM dan variasi sudut ini lebih maksimal dilakukan pada sudut 15° .

4.6 Karakteristik hasil

Setelah dilakukan penelitian terhadap minyak hasil pirolisis busa poliuretan diperoleh beberapa karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.5 Karakteristik minyak busa poliuretan

No	Parameter	Nilai
1	Densitas	0,96176 gr/ml
2	Viskositas	16,5 mPa.s
3	Nilai kalor	6.611,895Cal/gr
4	flash point	78-80 $^{\circ}$ C

Terdapat perbedaan karakteristik jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Tabel perbandingan karakteristik hasil minyak dengan penelitian lain bisa diamati pada tabel berikut :

Tabel 4.6 karakteristik minyak plastic Gaurav dkk

No	Karakteristik	Busa Poliuretan	Plastik LDPE (Wijaya 2017)	Plastik (Mustafa & Zainuri, 2014)	Plastik LDPE (Gaurav, dkk, 2014)	Endang, dkk (2016)	
						Plastik PP	Plastik LDPE
1	Viskositas (mPa.s)	16,5	3-3,2	-	5,2	0.72	0.62
2	Densitas (gr/ml)	0.96176	0,774	-	0,7025	0,7905	0,7690
3	Nilai Kalor (cal/gr)	6.611,895	11.424,45	9.240	10.460,5	10,246.4	8976,7
4	Flash Point	78-80	43-45	-	22	-	-

Dalam Tabel 4.6 menunjukkan hasil perbandingan karakteristik minyak busa poliuretan dengan penelitian lain. Karakteristik minyak busa poliuretan menunjukkan perbedaan yang signifikan terutama pada nilai kalor dan viskositas, nilai kalor minyak busa poliuretan cenderung lebih kecil dari hasil penelitian lain. Nilai viskositas minyak busa poliuretan lebih besar dari nilai viskositas penelitian lain, minyak busa poliuretan cenderung lebih kental yang menyebabkan rendahnya nilai kalor minyak busa poliuretan, hal ini disebabkan karena tingginya kadar abu dalam minyak busa poliuretan .

Minyak hasil proses pirolisis dapat dijadikan bahan bakar alternatif dalam pengembangan penelitiannya. Maka karakteristik minyak busa poliuretan dapat dibandingkan dengan beberapa bahan bakar dipasaran, antara lain : minyak tanah, premium dan solar. Hasil perbandingan minyak busa poliuretan dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 4.7 Perbandingan Karakteristik BBM

No	Karakteristik	Minyak busa poliuretan	Premium	Solar	minyak tanah	Biodiesel
1	Viskositas (mPa.s)	16,5	0,7	2-4,5	1,4	2,3-6,0
2	Densitas (kg/m ²)	0,9	0.7	0.8	0.9	0,85-0,89
3	Nilai kalor (cal/gr)	6.611,895	11.245	9.240	10.939	-
4	Flash point (°C)	78-80	43	52	60,2	100
Sumber		Hasil penelitian	Wijaya (2017)	Surono (2013)	Wijaya (2017)	SNI Biodiesel (2006)

4.7 Perbandingan Hasil Minyak dan Karakteristik Minyak Dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

Berikut adalah perbandingan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang mencakup bahan, suhu, waktu, hasil dan konsumsi bahan bakar. Perbandingan penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8 Perbandingan dengan penelitian lain

Peneliti	Bahan	Suhu	Waktu	Hasil
Sudut 0 Sudut 15 Sudut 30	1 kg Busa poliuretan	300-350	100 menit	349 ml 578 ml 540 ml
Endang, dkk.	500 gr plastik polypropylene dan LDPE	250-400	60 menit	27.05 % dan 37.43 % minyak

Peneliti	Bahan	Suhu	Waktu	Hasil
Wijaya Sudut 0 Sudut 15 Sudut 30	1 kg LDPE	300- 350	100 menit	540 ml 590 ml 520 ml
Gaurav dkk.	300 gr PP + 300 gr LDPE	300- 500	-	90 % minyak 4% abu
Sigit Haryadi	500 gr HDPE	300	17,5 menit	400 ml

Untuk perbedaan dengan penelitian serupa ukuran dimensi dan perbedaan bahan baku mempengaruhi hasil minyak. Semakin besar ukuran bahan baku proses pirolisis akan semakin lama untuk menghasilkan asap yang akan terkondensasi di dalam kondensator.

Dari percobaan yang sudah dilakukan, untuk mengetahui efisiensi penggunaan bahan bakar LPG terhadap hasil minyak busa poliuretan dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{m.\text{minyak} \times nK.\text{minyak}}{m.\text{LPG} \times nK.\text{LPG}} \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan :

η : Efisiensi bahan bakar (%)

$m.\text{minyak}$: massa minyak (gram)

$m.\text{LPG}$: massa LPG (gram)

$nK.\text{minyak}$: nilai kalor minyak (Cal/gram) didapat dari hasil uji kalor minyak busa poliuretan sebesar 6.611,895 Cal/gr.

$nK.\text{LPG}$: nilai kalor LPG (Kal/gram) didapat dari standar gas LPG pertamina sebesar 21.000 BTU/lb = 11.666,67 Cal/gr.

(sumber : kuncoro, dkk. 2016)

Efisiensi bahan bakar percobaan sudut 0°

Diketahui : m.minyak : 306 gram
 m.LPG : 1440 gram
 nK.minyak : 6.611,895 Cal/gr
 nK.LPG : 11.666,67 Cal/gr

$$\eta = \frac{306 \times 6.611,895}{1440 \times 11.666,67} = 0,12 \times 100\%$$

$$= 12 \%$$

Efisiensi bahan bakar percobaan sudut 15°

Diketahui : m.minyak : 555 gram
 m.LPG : 1470 gram
 nK.minyak : 6.611,895 Cal/gr
 nK.LPG : 11.666,67 Cal/gr

$$\eta = \frac{555 \times 6.611,895}{1470 \times 11.666,67} = 0,213 \times 100\%$$

$$= 21,3 \%$$

Efisiensi bahan bakar percobaan sudut 3°

Diketahui : m.minyak : 504 gram
 m.LPG : 1443 gram
 nK.minyak : 6.611,895 Cal/gr
 nK.LPG : 11.666,67 Cal/gr

$$\eta = \frac{504 \times 6.611,895}{1430 \times 11.666,67} = 0,199 \times 100\%$$

$$= 19,9 \%$$