

# PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN KONDENSER MENGUNAKAN KONFIGURASI ALIRAN *COUNTER FLOW* TERHADAP HASIL PIROLISIS LIMBAH BAN DENGAN DEBIT AIR PENDINGIN 6 LPM

Ali Uli Nuha<sup>1</sup>, Teddy Nurcahyadi<sup>2</sup>, Muhammad Nadjib<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul Yogyakarta 55183  
[ali.uli.2014@ft.umy.ac.id](mailto:ali.uli.2014@ft.umy.ac.id)

---

## Intisari

Sejak ditemukan pertama kali oleh Charles Goodyear pada tahun 1839 M ban karet atau karet vulkanisir menjadi salah satu benda yang paling banyak digunakan salah satunya untuk ban kendaraan bermotor. Ban merupakan salah satu bahan yang sulit terdegradasi secara alami oleh bakteri, sehingga limbah ban dapat berdampak buruk bagi lingkungan. Metode pirolisis adalah salah satu cara memanfaatkan limbah ban untuk diproses menjadi bahan bakar minyak.

Proses pirolisis dengan bahan limbah ban luar yang sudah dipotong 12x5 cm sebanyak 1 kg disetiap satu kali percobaan. Variasi kemiringan sudut kondenser menggunakan 0°, 15°, dan 30° dengan suhu pemanas yang berasal dari kompos gas sebesar 300°C-350°C dan debit air pendingin sebesar 6 LPM. Tabung reaktor, pipa aliran asap kondensor dan tabung kondenser diisolasi dengan pengujian selama 100 menit untuk 1 kg limbah ban.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa produksi minyak tertinggi pada sudut 30° sebanyak 404 ml, sisa arang 392 gram, dengan nilai laju perpindahan kalor sebesar 1.586,79 Watt. Hasil produksi minyak pada sudut 15° sebanyak 382 ml sisa arang 403 gram, dengan nilai laju perpindahan kalor sebesar 1.437,42 Watt. Sedangkan hasil produksi minyak pada sudut 0° sebanyak 374 ml, sisa arang 420 gram, dengan nilai laju perpindahan kalor sebesar 1.183,35 Watt. Karakteristik minyak pirolisis limbah ban setelah melakukan pengujian didapatkan nilai densitas sebesar 0,875 gr/ml, nilai viskositas sebesar 4,2-4,5 mPa.s, nilai kalor sebesar 10.129,61 Cal/g, dan flash point sebesar 55-57 °C.

**Keywords:** Pirolisis, Limbah Ban, Variasi Sudut, Laju Perpindahan Kalor, Karakteristik Minyak.

---

## 1. PENDAHULUAN

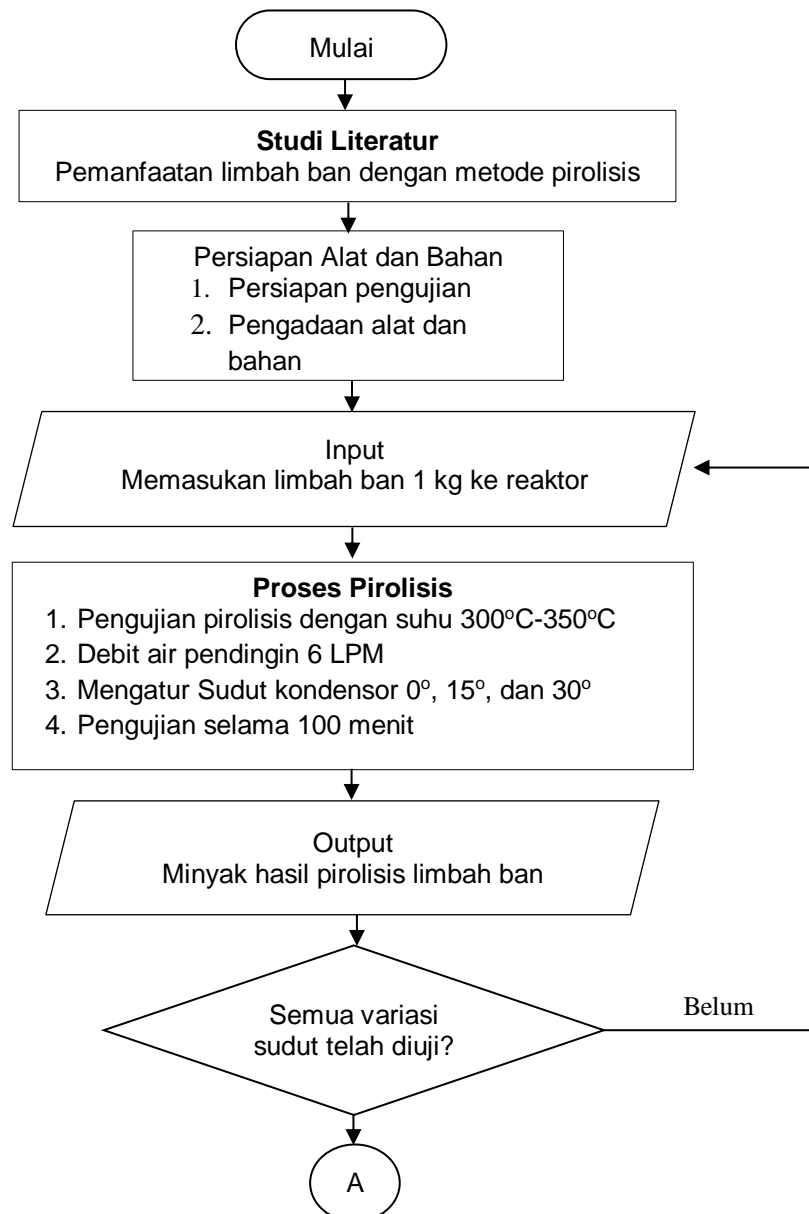
Penggunaan ban dari waktu ke waktu semakin meningkat seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi khususnya di bidang transportasi. Fungsi penting ban sebagai penahan beban dan peredam guncangan pada kendaraan bermotor menjadikan ban sebagai benda yang sering dipakai dan dapat menimbulkan persoalan berupa limbah. Alat pirolisis ini memiliki fungsi untuk mengubah limbah ban bekas menjadi asap cair (minyak

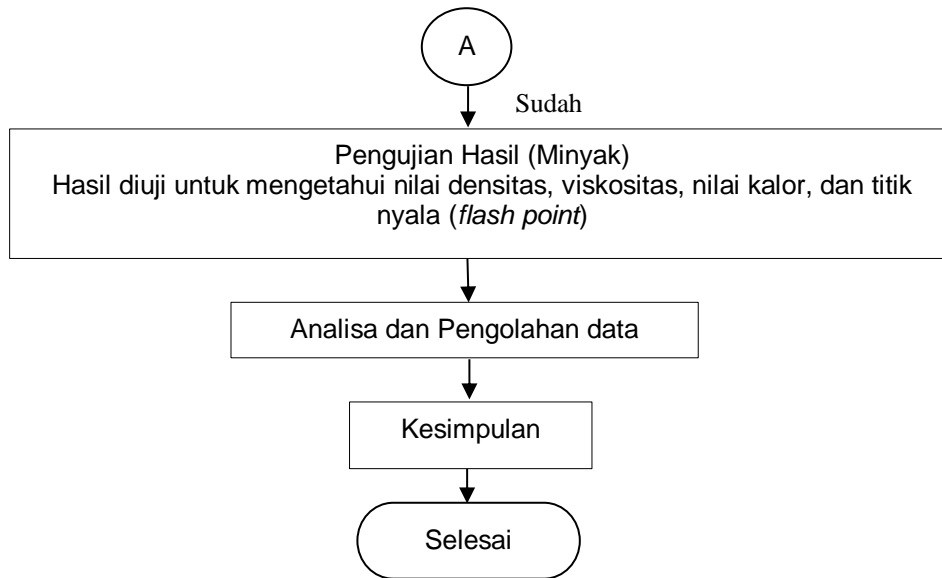
ban) yang bisa digunakan sebagai bahan bakar. Tiga produk diperoleh dari proses pirolisis ini yaitu cair, arang padat, dan gas.

Minyak ban hasil dari proses pirolisis dapat diolah lebih lanjut agar dapat dijadikan sumber bahan bakar alternatif pengganti BBM. Pada sistem pendinginan juga harus memperhatikan kecepatan laju fluida, baik fluida yang didinginkan maupun fluida yang sebagai pendingin (Widodo, 2017). Kemiringan sudut kondenser juga mempengaruhi terhadap aliran asap pada kondenser. Semakin tegak posisi kondenser maka laju aliran asap semakin cepat melewati kondenser. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap variasi kemiringan dan proses pendinginan pada kondenser supaya hasil yang didapatkan dapat lebih maksimal.

## 2. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Bagan alir adalah penyederhanaan dari seluruh tahapan yang dilakukan saat penelitian. Dengan adanya diagram alir penelitian ini maka penelitian akan berjalan sesuai dengan seluruh tahapan yang sudah direncanakan.

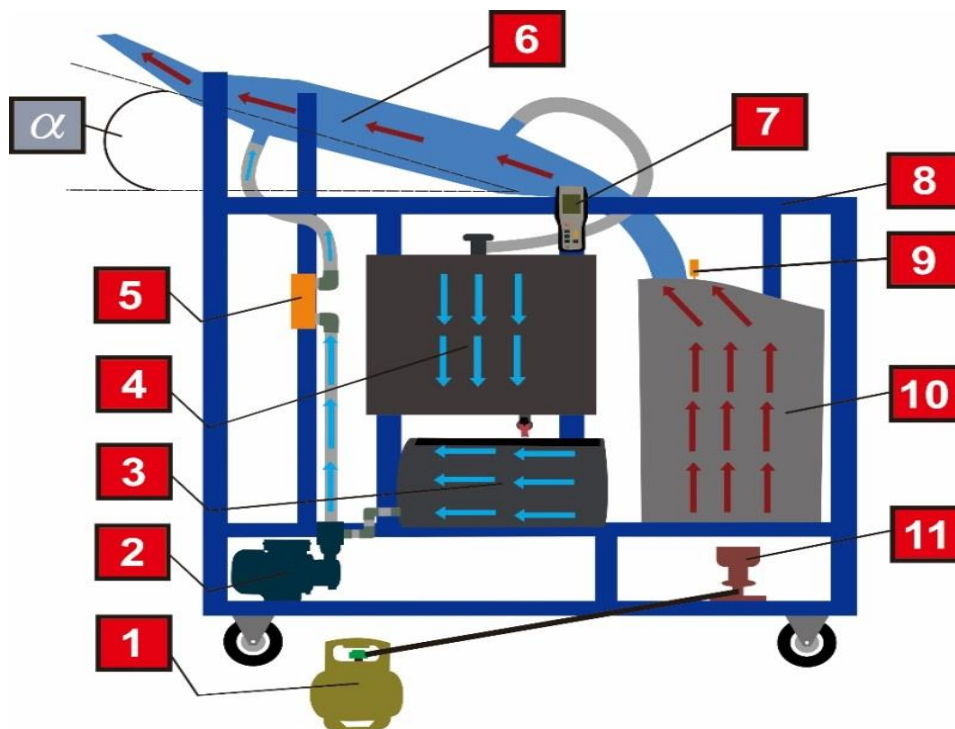




Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### 3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini variasi sudut kondensor yang digunakan yaitu :  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Aliran air pendingin di dalam kondensor menggunakan laju aliran air berlawanan dengan laju uap (*counter flow*) dengan debit 6 LPM serta bahan baku yang diuji adalah limbah ban seberat 1 kg setiap kali percobaan. Data dan pembahasan dimulai dari percobaan pirolisis ban.



Gambar 2 Skema alat pirolisis limbah ban

Keterangan gambar :

1. Gas LPG
2. Pompa air
3. Penampung air
4. Radiator
5. Flow Meter
6. Kondensor
7. Thermocouple Reader
8. Kerangka
9. Manometer
10. Reaktor
11. Kompor

Proses pirolisis adalah proses fraksinasi material oleh suhu yang dimulai pada temperatur 230°C komponen tidak stabil secara termal dan volatile matters pada sampah akan pecah dan menguap bersama komponen lainnya yang menghasilkan produk cair yang dipengaruhi oleh suhu, waktu dan juga laju pemanasan (Hasyim, 2017). Pirolisis adalah degradasi termal komponen organik yang berasal dari limbah padat dengan suhu pirolisis yang biasa digunakan berkisar 300°C-600°C untuk menghasilkan produk minyak, gas dan arang (Hossain et al. 2017).

Ban adalah peranti (komponen) yang menutupi velg suatu roda. Ban yang berbahan dasar karet termasuk dalam jenis polimer sintesis (polystirene). Limbah ban bekas merupakan salah satu sampah non-organik yang setiap tahun produksinya terus meningkat di seluruh dunia

Bahan bakar cair merupakan campuran dari senyawa hidrokarbon yang didapat dari alam maupun secara buatan. Umumnya bahan bakar cair berasal dari minyak bumi.

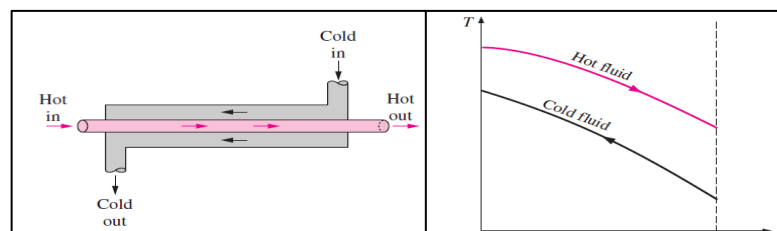
Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api.

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan ukuran hambatan suatu fluida untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari fluida. Viskositas suatu fluida akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Semakin besar nilai viskositas suatu fluida maka akan semakin kental dan sulit mengalir. Sebaliknya jika nilai viskositas rendah fluida semakin encer dan lebih mudah mengalir.

Nilai kalor merupakan suatu nilai yang menyatakan jumlah kalori dari hasil proses pemanasan bahan bakar dengan udara. Nilai kalor bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18.300 – 19.800 Btu/lb atau 10.160 – 11.000 kkl/kg.

Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya.

Penukar Panas Tipe Aliran Berlawanan (*Counter Flow*) yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan.



Gambar 3 Skema dan grafik rata-rata  $\Delta T$  *Counter Flow* (Cengel, 2003)  
Laju perpindahan panas *parallel flow* :

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

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

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada sudut 0° dengan debit air pendingin 6 LPM menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* menghasilkan minyak sebanyak 374 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,67 kg.

Tabel 1 Data hasil percobaan pada sudut 0°

Debit 6 LPM, sudut 0°					T reaktor rata-rata	Q (Watt)	Minyak /10 menit	Konsumsi gas/10 menit (Kg)
Waktu (menit)	T1	T2	T3	T4				
0	31,07	30,94	30,23	30,56	34,05	295,29	0	0
10	47,38	34,39	33,57	40,42	140,01	341,16	0	0,15
20	117,07	39,62	38,43	41,75	282,85	494,66	15	0,16
30	126,18	41,39	38,84	43,91	293,72	1067,79	50	0,17
40	125,27	42,76	39,95	45,04	308,98	1174,99	75	0,17
50	115,75	44,13	41,17	46,89	320,15	1239,88	90	0,18
60	106,63	42,71	41,11	46,58	324,56	667,12	75	0,18
70	96,61	40,38	38,74	47,81	325,23	685,88	40	0,18
80	92,96	38,35	36,91	47,61	322,53	599,15	16	0,17
90	88,60	36,82	35,50	46,38	317,00	555,26	8	0,16
100	80,81	35,50	34,79	46,89	307,27	299,99	5	0,15
Jumlah							374	1,67

Pengujian pada sudut 15° dengan debit air pendingin 6 LPM menggunakan konfigurasi aliran *counter flow* menghasilkan minyak sebanyak 382 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,7 kg.

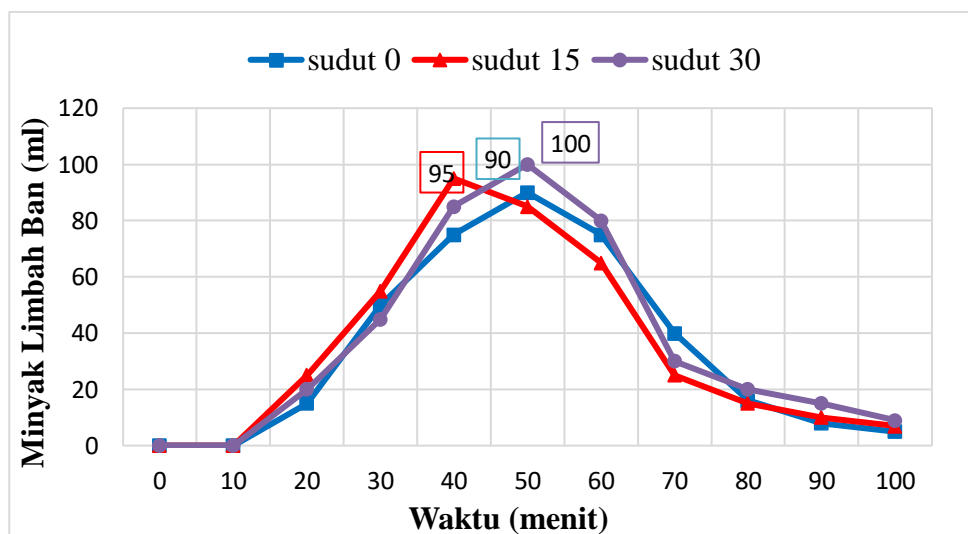
Tabel 2 Data hasil percobaan pada sudut 15°

Debit 6 LPM, sudut 15°					T Reaktor rata-rata	Q (Watt)	Minyak /10 menit	Konsumsi gas /10 menit (KG)
Waktu (menit)	T1	T2	T3	T4				
0	30,97	29,92	29,42	31,48	33,81	209,61	0	0
10	41,50	38,19	37,17	34,98	154,45	429,72	0	0,16
20	52,44	40,93	38,63	44,12	205,14	961,52	25	0,17
30	126,59	42,30	39,44	45,14	301,19	1195,68	55	0,17
40	128,92	45,96	42,53	46,68	321,75	1432,19	95	0,18
50	132,87	44,94	42,28	48,22	335,25	1113,76	85	0,18
60	119,60	46,82	44,46	49,05	338,83	988,74	65	0,18
70	107,24	42,41	40,46	49,25	331,23	814,92	25	0,17
80	96,91	40,78	39,55	39,91	332,16	517,02	15	0,17
90	87,69	39,36	38,18	40,83	330,99	494,40	10	0,16
100	78,98	38,65	37,52	40,83	329,72	472,51	7	0,16
Total							382	1,7

Pengujian yang dilakukan pada sudut 30° dengan debit air pendingin 6 LPM menghasilkan minyak sebanyak 404 ml dan gas yang terpakai yaitu 1,72 kg.

Tabel 3 Data hasil percobaan pada sudut 30°

Debit 6 LPM, sudut 30°					T Reaktor rata-rata	Q (Watt)	Minyak /10 menit	Konsumsi gas/10 menit (Kg)
Waktu (menit)	T1	T2	T3	T4				
0	34,82	31,34	30,33	30,15	36,44	422,66	0	0
10	46,37	35,40	34,23	34,98	205,55	490,32	0	0,15
20	81,92	39,67	37,93	36,93	259,54	727,46	20	0,17
30	159,20	42,10	39,90	36,93	306,27	920,40	45	0,18
40	187,87	46,16	42,99	37,54	330,36	1326,61	85	0,19
50	186,35	47,18	43,39	38,06	343,13	1581,56	100	0,18
60	147,96	43,62	41,72	38,16	345,26	795,02	80	0,19
70	129,12	42,41	40,61	36,72	344,00	751,44	30	0,17
80	120,61	41,09	39,44	37,34	320,45	686,61	20	0,17
90	105,12	39,56	38,08	37,03	341,64	621,56	15	0,17
100	103,09	37,38	36,36	36,52	334,54	428,88	9	0,15
Jumlah							404	1,72



Gambar 4 Korelasi waktu dengan hasil produksi minyak

Grafik tersebut didapat dari hasil data yang sudah terkalibrasi. Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa grafik hasil produksi minyak tertinggi menggunakan debit air pendingin sebesar 6 LPM menggunakan jenis aliran *counter flow*. Pada percobaan sudut kondensor 0° puncak produksi minyak terjadi pada menit ke 50 dengan produksi minyak pirolisis naik secara signifikan dari menit ke 20 tetesan minyak sebanyak 15 ml, kemudian meningkat menjadi 50 ml pada menit ke 30 lalu sepuluh menit selanjutnya yaitu pada menit ke 40 minyak mengalir sebanyak 70 ml. Pada menit ke 50 dengan puncak produksi minyak sebanyak 90 ml kemudian perlahan menurun sampai menit ke 100 dengan total produksi minyak yang tertampung yaitu 374 ml. Pengujian selama 100

menit dengan tekanan buka gas yang sama dengan bahan uji limbah ban luar bekas sebanyak 100 kg.

Percobaan yang kedua dengan sudut kemiringan kondensor 15° menunjukkan grafik dengan kenaikan yang signifikan. Pada percobaan tersebut menggunakan jenis aliran *counter flow* dengan dilakukan pengisolasian pada reaktor. Peningkatan produksi minyak dimulai pada menit ke 20 dengan volume 25 ml sampai dengan puncak produksi minyak pada menit ke 40 dengan produksi minyak sebanyak 95 ml. Setelah menit ke 40 produksi minyak masih tinggi yaitu sebesar 85 ml dan 65 ml pada pada menit ke 50 dan menit ke 60. Jumlah total produksi minyak pada percobaan kedua yaitu sebanyak 382 ml. Dengan sedikitnya produksi minyak pada menit ke 100 itu menunjukkan bahwa limbah ban didalam reaktor sudah menjadi arang.

Percobaan pirolisis dengan sudut 30° dapat dilihat grafik kenaikan yang paling signifikan yaitu setelah menit ke 30 sampai menit ke 40, produksi minyak mengalami peningkatan produksi sebanyak 45 ml dan 85 ml. Hasil minyak mengalami titik puncak pada menit ke 50 yaitu sebanyak 100 ml. Percobaan dengan sudut 30° menghasilkan produksi minyak yang cenderung konstan pada menit ke 30 sampai menit ke 60 dikarenakan pengaruh kemiringan kondensor yang menunjukkan bahwa minyak yang telah terkondensasi langsung mengalir keluar dari kondensor karena gaya gravitasi.

Pada percobaan dengan bahan uji limbah ban luar dengan debit 6 LPM menggunakan aliran *counter flow* serta dilakukan pengisolasian pada kondensor, reaktor, dan pipa penghubung aliran asap sampai aliran keluar menunjukkan hasil yang lebih optimal daripada pengujian yang sama sebelumnya. Percobaan dengan variasi kemiringan sudut kondensor 30° menghasilkan produksi minyak 404 ml lebih banyak daripada sudut 0° dan 15° yaitu 374 ml dan 382 ml.

Nilai laju perpindahan kalor/panas yang terjadi didalam kondensor akan dihitung berdasarkan hasil pengamatan dalam penelitian dan hasil dari pengamatan akan dikorelasikan dengan hasil produksi minyak yang diperoleh pada setiap proses kondensasi per 10 menit. Dalam penelitian ini laju transfer panas hanya dihitung dari proses transfer energi panas yang diterima oleh air pendingin.

Laju perpindahan panas *counter flow* :

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

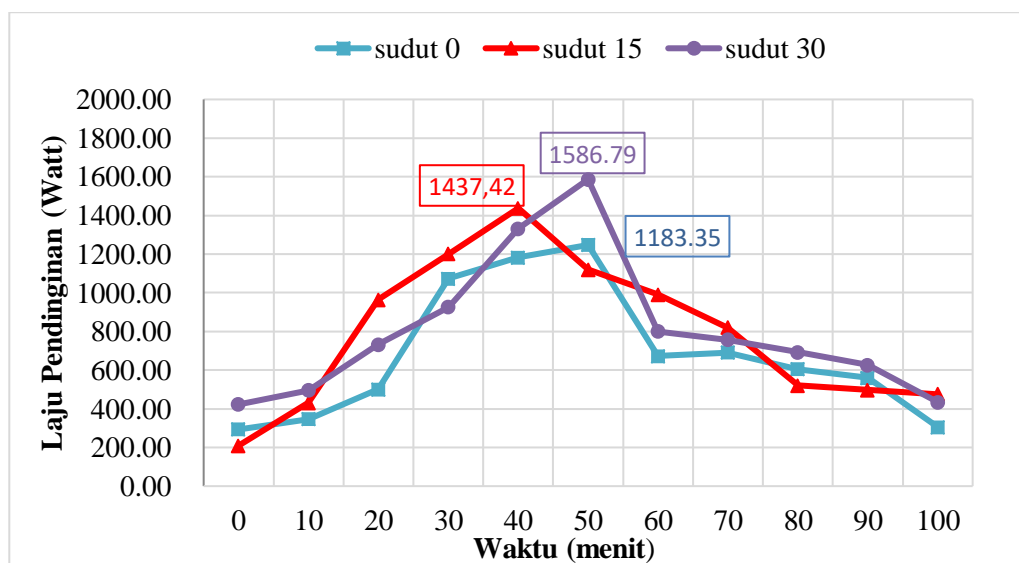
Dimana : Q = perpindahan kalor

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

c = Kalor jenis air ( 4180 kg/ J °C)

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

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



Gambar 5 Korelasi waktu terhadap nilai laju pendinginan

Pada percobaan dengan sudut 0° dari menit awal sampai menit ke 30 mengalami kenaikan cukup tinggi dan setelah menit ke 30 sampai menit ke 50 kenaikan laju perpindahan panasnya cenderung konstan. Titik tertinggi nilai perpindahan panas pada sudut 0° terjadi di menit ke 50 yaitu sebesar 1183,35 Watt dan setelah menit ke 50 nilai perpindahan panas cenderung menurun sampai dengan menit ke 100. Hal ini terjadi karena transfer panas dari asap yang dikondensasi oleh air pendingin sudah mulai berkurang.

Percobaan dengan sudut kondensor sebesar 15° pada kenaikan laju perpindahan terjadi dari menit awal sampai menit ke 40 dengan puncak perpindahan kalor sebesar 1437,42 Watt. Setelah menit ke 40 laju perpindahan panas mengalami penurunan sampai dengan menit ke 80. Pada menit ke 80 sampai menit ke 100 laju perpindahan kalor konstan berkisar antara 400 Watt sampai 600 Watt.

Pada percobaan dengan sudut 30° dari menit awal sampai menit ke 50 mengalami kenaikan laju perpindahan panas yang sangat signifikan. Titik tertinggi nilai perpindahan panas terjadi pada menit ke 50 sebesar 1586,79 Watt. Pada menit ke 50 ke menit 60 nilai perpindahan panas mengalami penurunan drastis dan setelah menit ke 60 sampai menit ke 100 penurunan perpindahan panas terjadi secara konstan. Hal ini terjadi karena transfer panas dari asap yang dikondensasi oleh air pendingin sudah mulai berkurang.

Tabel 4 Persentase Hasil Minyak, Arang, dan Gas

Sudut kondensor	limbah ban (gr)	Minyak (gr)	Arang (gr)	Persentase Minyak (%)	Persentase Arang (%)	Persentase gas (%)
0°	1000	281	420	28,1	42	29,9
15°	1000	290	403	29	40,3	30,7
30°	1000	319	392	31,9	39,2	28,9

Dari tiga proses percobaan yang dilakukan hasil minyak terbanyak adalah dengan variasi pengujian yang dilakukan pada sudut kemiringan kondensor 30°. Hasil sebanding dengan kemiringan sudut kondensor terhadap reaktor, apabila semakin tinggi kemiringan maka volume kondensat akan semakin banyak minyak yang dihasilkan. Perolehan minyak pirolisis pada sudut 0° sebanyak 374 ml, pada kemiringan sudut 15° volume total minyak sebanyak 382 dan pada sudut kemiringan kondensor 30° minyak hasil pirolisis sebanyak 404 ml.

Tabel 5 Perbedaan karakteristik minyak ban dengan peneliti lain

No	Densitas (gr/ml)	Viskositas (mPa.s)	Nilai Kalor (Cal/gr)	Flash Point (°C)	Sumber
1.	0,875	4,2 - 4,5	10129,61	55-57	Hasil penelitian
2.	0,901	5,07-5,57	10032,41	58-60	Hasil penelitian Nurhadi (2017)
3.	0,81-0,86	1,31-1,92	8467,09	-	Syamsiro <i>et al</i> (2016)
4.	0,73	29	-	29	Mukharomah (2017)
5.	0,79	33	-	30	Hasyim <i>et al</i> (2017)
6.	0,97	5	10098,41	30	Hossain <i>et al</i> (2017)
7.	0,85	1,51	10199,90	34	Nabi <i>et al</i> (2014)
8.	0,96	4,75	10031,53	32	Islam <i>et al</i> (2008)

Tabel 5 Menunjukkan bahwa karakteristik minyak hasil percobaan tidak jauh berbeda dengan penelitian yang lain. Minyak pirolisis limbah ban yang dihasilkan dengan karakteristik yang diuji seperti densitas, nilai kalor, viskositas, dan nilai *flash point* memiliki selisih yang tidak jauh berbeda dari yang dihasilkan oleh para peneliti sebelumnya.



Hasil perbandingan karakteristik minyak hasil pirolisis limbah ban dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan karakteristik minyak ban dengan bahan bakar lain

No.	Jenis Bahan Bakar	Karakteristik				Sumber
		Densitas (gr/ml)	Viskositas (mPa.s)	Nilai Kalor (Cal/gr)	Flash Point (°C)	
1	Minyak Ban	0,875	4,2 - 4,5	10129,61	55-57	Hasil Penelitian
2	Premium	0,7	0,7	11245	43	Andriyanto (2017)
3	Solar	0,83-0,88	5	11106,33	50	Surono, (2013)
4	Biodiesel	0,85-0,89	2,3-6,0	-	100	SNI Biodiesel (2006)
5	Pertamina Dex	0.820-0.860	2.0-4.5	-	55	Syamsiro, (2014)
6	Minyak tanah	0,9	1,4	10939,1	60,2	Andriyanto (2017)

Tabel 6 menunjukkan bahwa karakteristik minyak limbah ban hasil pirolisis tidak berbeda jauh dengan jenis BBM yang ada di pasaran khususnya BBM jenis solar, dilihat dari nilai densitas, viskositas, nilai kalor dan *flash point* yang nilainya hampir mendekati nilai karakteristik BBM jenis solar. Jika dilihat dari nilai kalor minyak limbah ban yang sebesar 10129,61 Cal/g, minyak limbah ban hasil pirolisis dapat dikategorikan sebagai bahan bakar minyak dengan kualitas tinggi dan mendekati nilai kalor BBM yang ada dipasaran. Dengan demikian jika proses pirolisis limbah diolah lebih lanjut dengan tepat maka dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM yang semakin lama semakin menipis persediaannya.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan pirolisis yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Percobaan pirolisis limbah ban hasil minyak pada sudut kemiringan kondensor 30° lebih banyak daripada sudut kemiringan koondensor 0° dan 15°. Pada sudut kemiringan kondensor 0° menghasilkan minyak sebanyak 374 ml, sudut 15° menghasilkan minyak sebanyak 382 ml, dan pada percobaan sudut 30° menghasilkan minyak sebanyak 404 ml.
2. Nilai laju perpindahan panas paling tinggi terjadi pada percobaan sudut kemiringan kondensor 30° yaitu sebesar 1.586,79 Watt. Pada sudut kemiringan kondensor 15° nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu sebesar 1.437,42 Watt. Nilai laju perpindahan panas tertinggi pada sudut kemiringan kondensor 0° sebesar 1.183,35 Watt.
3. Dari tiga proses percobaan yang dilakukan hasil minyak terbanyak adalah dengan variasi pengujian yang dilakukan pada sudut kemiringan kondensor 30°. Hasil sebanding dengan kemiringan sudut kondensor terhadap reaktor, apabila semakin tinggi kemiringan maka volume kondensat akan semakin banyak minyak yang dihasilkan.
4. Karakteristik minyak pirolisis limbah ban setelah melakukan pengujian didapatkan nilai densitas sebesar 0,875 gr/ml, nilai viskositas sebesar 4,2-4,5 mPa.s, nilai kalor sebesar 10.129,61 Cal/g, dan *flash point* sebesar 55-57 °C.
5. Karakteristik nilai kalor, densitas dan, *flash point* minyak pirolisis limbah ban mendekati angka karakteristik bahan bakar minyak seperti premium, solar dan minyak tanah. Tetapi secara pengolahan hasil minyak pirolisis limbah ban perlu di sterilisasi lagi untuk meningkatkan nilai yang lebih baik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, M. 2017. *Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Kondensor (0°, 15°, 30°) terhadap Hasil Proses Pirolisis Plastik LDPE Pada Debit Air Pendingin 6 LPM*. Yogyakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Cengel, Y. A. 2003. *Heat Transfer a Practical Approach*. New York : Mc Graw Hill.
- Dermanto, L. 2008. *Studi Koparasi Kinerja Mesin Berbahan Bakar Solar dan CPO Tanpa Pemanasan Awal*. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Falaah, dan Cifriadi. 2012. *Pemanfaatan Limbah Ban Bekas dengan Menggunakan Teknologi Pirolisis*. Bogor : Warta Perkaretan. Vol.31, No.2:103-107.
- Falaah, dan Maspanger. 2013. *Pemanfaatan Hasil Pirolisis Limbah Ban Bekas sebagai Bahan Pelunak untuk Pembuatan Barang Jadi Karet*. Pusat Penelitian Karet, Bogor.
- Galvagno, S dkk. 2002. *Pyrolysis Process For The Treatment of Scrap Tyres: Preliminary Experimental Results*. Waste Management, 22, 917-923.
- Goyal, H.B. 2008. *Bio-Fuels From Thermochemical Conversion of Renewable Resources: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 504-517.
- Hasyim, N. 2017. *Analisa Bahan Bakar Alternatif Ban Bekas dan Serabut Kelapasawit pada Proses Pirolisis*. Kediri : Teknik Mesin Universitas Nusantara PGRI Kediri. Vol.01, No.03:1-8.
- Hossain, M. S dkk. 2017. *Biofuel From Co-Pyrolysis of Solid Tire Waste and Rice Husk*. Energy Procedia, 110, 453-458.
- Kuncoro, A. dkk. 2016. *LPG Sebagai Energi Alternatif untuk Bahan Bakar Dual-Fuel Mesin Diesel Kapal Nelayan Tradisional*. Jakarta : Seminar Nasional Sains dan Teknologi. e-ISSN : 2460-8416.
- Mukharomah, L. F. 2017. *Pengaruh Temperatur Terhadap Proses Pirolisis pada Ban Bekas Murni dan Ban Bekas dengan Katalis*. Kediri : Teknik Mesin Universitas Nusantara PGRI Kediri. Vol.01, No.02:1-8.
- Santoso, J. 2010. *Uji Sifat Minyak Pirolisis dan Uji Performasi Kompor Berbahan Bakar Minyak Pirolisis Dari Sampah Plastik*. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Sunanto, A. dkk. 2013. *Analisa Cacat Produk Ban Vulkanisir Jenis Truk dan Bus pada CV. Sigma Jaya Surakarta*. Skripsi. Pendidikan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
- Syamsiro, M. dkk. 2014. *Fuel Oil Production From Municipal Plastic Wastes In Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors*. Energy Procedia, 47, 180-188.
- Syamsiro, M. dkk. 2016. *Studi Pirolisis Sampah Ban untuk Produksi Bahan Bakar Minyak Alternatif bagi Industri Kecil dan Menengah*. Yogyakarta : Jurnal Riset Daerah. Vol.15, No.3:2511-2522.
- Thamrin, 2004. *Optimasi Sifat Mekanik Dari Campuran Karet Ban Dalam Bekas Dengan Karet Alam (SIR 5, SIR 10, dan SIR 20)*. Medan : Kimia FMIPA Universitas Sumatera Utara. Jurnal Sains Kimia Vol.8, No.2:50-52.
- Wijaya, D. H. 2017. *Pengaruh Variasi Sudut Orientasi Kondensor (0°, 15°, dan 30°) terhadap Hasil Proses Pirolisis Plastik LDPE dengan Debit Air Pendingin 18 LPM*. Yogyakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Widodo, E. Y. 2017. *Pengaruh Variasi Sudut Kondensor (0°, 15°, dan 30°) Terhadap Hasil Pirolisis Limbah Ban dengan Debit Air Pendingin 6 LPM*. Yogyakarta : Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Zabaniotou, A.A dan G. Stravropoulous, 2003. *Pyrolysis of Used Automobile Tires and Residual Char Utilization*. Journal of Analitical and Applied Pyrolysis, 70 : 711-722.