

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PROSES PIROLISIS SAMPAH PLASTIK

Supanto¹⁾, Ahmad Adit Fardiansyah²⁾, Hablinur Alkindi³⁾, Dwi Yuliaji⁴⁾

¹Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Email: supanto1994@gmail.com

²Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Email: ahmadadit81@gmail.com

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan plastik saat ini terus meningkat dalam kehidupan sehari-hari. Peningkatan penggunaan bahan plastik juga semakin banyak diikuti dengan sampah yang terus meningkat dilingkungan. Limbah plastik tidak seperti limbah organik yang dapat terurai oleh bakteri, limbah plastik membutuhkan waktu yang sangat lama untuk bisa terurai sehingga menyebabkan terjadinya penumpukan di tempat pembuangan sampah. Pirolisis dapat dijadikan metode alternatif untuk mengurangi penumpukan sampah plastik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui panas yang dihasilkan tungku reaktor. Dapat mengetahui hasil beberapa perlakuan jenis plastik performa yang lebih baik dari minyak yang dihasilkan. Menganalisis performa kondensor proses pirolisis. Mengetahui energi yang terjadi dalam kondensor tipe shell and tube. Analisis laju perpindahan panas pada reaktor serta mencari nilai heatloss pada reaktor. Hasil penelitian pada reaktor menunjukkan bahwa Terdapat beda pengaruh laju pindah panas pada plastik bungkus mie dan bungkus kopi. Untuk plastik bungkus mie temperatur yang dihasilkan lebih cepat panas dibandingkan dengan temperatur pada pirolisis menggunakan bungkus kopi. Perbedaan nilai laju pindah panas antara percobaan menggunakan bungkus mie dan bungkus kopi sebesar 3,4 oC/menit, dan untuk panas yang hilang pada reaktor selama proses didapatkan nilai 141,9 Kw. Hasil penelitian pada kondensor terhadap hasil kondensasi menunjukkan bahwa plastik yang dicacah dan tidak dicacah berbeda, bungkus mie instan yang dicacah 69% dibanding tidak dicacah 16%, sedangkan bungkus kopi yang dicacah 15% dan tidak dicacah 10%. Energi yang dihasilkan kondensor sebesar 1260 J, 882 J, 378 J dan 378 J. Nilai LMTD sebesar 32.5 °C, 20.9 °C, 9 °C dan 4.6 °C.

Kata kunci : Kondensor, Perpindahan panas, Pirolisis, Reaktor.

ABSTRACT

Along with the development of technology, the use of plastic is currently increasing in everyday life. The increase in the use of plastic materials is also increasingly followed by the increasing amount of waste in the environment. Plastic waste is not like organic waste which can be decomposed by bacteria, plastic waste takes a very long time to decompose, causing accumulation in the right garbage disposal. Pyrolysis can be used as an alternative method to reduce the accumulation of plastic waste. The purpose of this study was to determine the heat generated by the reactor furnace. Can find out the results of several types of plastic treatment with better performance than the oil produced. Analyze the performance of the pyrolysis process condenser. Knowing the energy that occurs in the shell and tube type condenser. Analysis of the rate of heat transfer in the reactor and look for the value of heat loss in the reactor. The results of the research on the reactor showed that there was a difference in the effect of heat transfer rates on plastic noodle wrappers and coffee wrappers. For plastic noodle wrappers, the temperature produced is faster than the temperature for pyrolysis using coffee wrappers. The difference in the value of the heat transfer rate between the experiments using noodle packs and coffee packs was 3.4 °C/minute, and for the heat lost in the reactor during the process, a value of 141.9 Kw was obtained. The results of the research on the condenser on the condensation results showed that the chopped and unchopped plastics were different, 69% chopped instant noodle packs compared to 16% unchopped coffee, while the chopped coffee packs were 15% and not chopped 10%. The energy produced by the condenser is 1260 J, 882 J, 378 J and 378 J. The LMTD values are 32.5 °C, 20.9 °C, 9 °C and 4.6 °C.

Keywords : Condenser, Heat transfer, Pyrolysis, Reactor.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan plastik saat ini terus meningkat untuk kehidupan sehari-hari. Sifat bahan plastik yang halus, fleksibel, tahan air mudah dibentuk dan diwarnai, ringan, kuat, serta harga yang terjangkau yang menyebabkan plastik sulit dipisahkan dalam kehidupan manusia. Peningkatan penggunaan bahan plastik juga semakin banyak diikuti dengan sampah yang terus meningkat di lingkungan. Perubahan pola hidup yang menyebabkan keterbatasan lahan tempat pembuangan sampah akhir (TPA). Menyebabkan sampah kurang dapat diatasi dengan baik (Gandawidura 2019).

Limbah plastik tidak seperti limbah organik yang dapat terurai oleh bakteri, limbah plastik membutuhkan waktu yang sangat lama untuk bisa terurai sehingga menyebabkan terjadinya penumpukan di tempat pembuangan sampah. Masyarakat sering membakar sampah plastik untuk mengurangi jumlah plastik di lingkungan padahal dapat menghasilkan gas beracun yang sangat berbahaya bagi kesehatan.

Pirolisis dapat dijadikan metode alternatif karena produk yang dihasilkan berupa cairan, gas dan padatan yang mengurangi masalah pencemaran lingkungan. Pirolisis tidak melepaskan polutan berupa partikel dan CO₂ ke atmosfer sehingga praktis tidak mengganggu lingkungan (Naimah and Nuraeni et al 2012). Diharapkan menjadi solusi mengatasi masalah kebutuhan energi untuk kelangsungan hidup manusia. Cara ini sejalan dengan program setiap Negara-negara maju tentang pengembangan energi terbarukan atau energi baru terbarukan.

Desain pada kondensator akan mempengaruhi terhadap hasil kondensasi, karena bentuk geometri dari suatu kondensator mempengaruhi proses panas yang terjadi di dalam. Nilai konduktivitas bahan suatu kondensator memberikan pengaruh besar terhadap efektivitas proses transfer yang terjadi di dalam kondensator, karena semakin tinggi nilai konduktivitas bahan maka proses transfer panas akan semakin baik dan efisiensi akan meningkat.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besaran panas yang dihasilkan oleh tungku pada reaktor. Dapat mengetahui hasil beberapa perlakuan jenis plastik performa yang lebih baik dari minyak yang dihasilkan. Menganalisis performa kondensator proses pirolisis. Mengetahui energi yang terjadi dalam kondensator tipe *shell and tube*. Analisis laju perpindahan panas pada reaktor serta mencari nilai *heatloss* pada reaktor.

1.1 Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang di bentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses gabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen. Pembuatan plastik bahan yang sering digunakan adalah naptha, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan bahan baku dan kebutuhan energi prosesnya (Kumar and Panda et al 2011).



Gambar 1.1 Nomor kode plastik

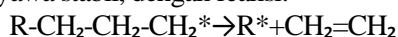
Tabel 1.1 Jenis-jenis plastik dan penggunaannya

No	Jenis Plastik	Penggunaannya
1	PET (Polyethylene Terephthalate)	Botol minuman ringan dan botol minuman mineral, bahan pengisi kontong tidur (<i>sleping bag</i>) atau bantal serat <i>Textile</i> .
2	HDPE (High-density Polyethylene)	Kantong belanja, kantong <i>freezer</i> , botol susu dan cream, botol <i>sampho</i> dan pembersih.
3	PVC (Polyvinyl Chloride)	Botol <i>juice</i> , botol pupuk, pipa saluran selang kebun, sol sepatu, kantong darah dan tabung.
4	LDPE (Low-density Polyethylene)	Kotak <i>ice cream</i> , kantong sampah, lembar plastik hitam.
5	PP (Polyethylene atau Polypropene)	Kotak <i>ice cream</i> , kantong kentang goreng, sedotan, kotak makanan.
6	PS (Polystyrene)	Kotak <i>yoghurt</i> , plastik meja, Kristal imitasi " <i>galss ware</i> " cangkir minuman panas, wadah makanan siap saji, baki kemasan
7	Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no 1-6	Termasuk plastik lainnya, <i>acrylic</i> , dan <i>nylon</i>

Sumber: (Suroño 2013)

1.2 Pirolisis

Pirolisis merupakan reaksi dekomposisi pada suhu tinggi mengikuti mekanisme reaksi radikal bebas. Reaksi ini melalui tiga tahap permulaan, tahap hambatan dan tahap penghentian. Pada tahap permulaan akan terjadi pemutusan rantai ikatan yang lemah karena adanya kenaikan suhu. Radikal bebas yang terbentuk pada tahap perambatan akan terpecah lagi membentuk radikal bebas baru yang lebih kecil dan senyawa stabil, dengan reaksi:



Untuk suhu tertentu ethylene telah berupa senyawa stabil, tetapi R* belum stabil sehingga akan terpecah lagi. Pada penghentian, radikal-radikal bebas yang akan membentuk senyawa stabil, dengan reaksi:



Secara umum menunjukkan bahwa pirolisis plastik menghasilkan tiga macam produk yaitu gas, cairan dan padatan. Pirolisis bahwa polimer berupa bahan padat akan menghasilkan gas yang kemudian mengembun sebagian dan padatan yang tidak bereaksi lagi dan tersisa di dalam retort. Reaksi pirolisis atau depolimerisasi didekati dengan model yang sederhana yaitu reaksi searah dan berorde satu (Sumarni and Purwanti A 2008).

1.3 Perpindahan panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses perpindahan panas energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana energi kalor akan berpindah dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi (Holman JP 2010).

Laju perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$q = U.A.\Delta T_m \dots\dots\dots 1$$

Dimana:

- q = Laju perpindahan panas (w)
- U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m².°C)
- A = Luas penampang perpindahan panas (m²)
- ΔT_m = Beda suhu rata-rata dalam penukar panas (K)

1.3.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas komduksi adalah perpindahan panas melalui zat padat yang tidak ikut mengalami perpindahan. Artinya, perpindahan kalor pada suhu zat tersebut tidak disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya. Menurut (Cengel Yunus 2006) secara umum besaran kalor di dalam konduksi dihitung dengan persamaan 2.

$$Q_k = kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots 2$$

Dimana:

- Q_k = Laju aliaran kalor (w)
- k = Konduktifitas termal bahan (W/m².K)
- A = Luas penampang (m²)
- $\frac{dT}{dx}$ = Gradien suhu pada penampang tersebut (K/m)

1.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas melalui aliran yang zat perantaranya ikut berpindah. Jika partikel berpindah dan mengakibatkan kalor merambat, terjadilah konveksi. Konveksi terjadi pada zat cair atau gas (udara atau angin). Menurut (Cengel Yunus 2006) nilai kalor yang dipindahkan melalui konveksi dapat menggunakan persamaan 3.

$$Q_c = hc.A.\Delta T \dots\dots\dots 3$$

Dimana:

- Q_c = Laju perpindahan kalor secara konveksi (w)
- hc = Koefisien perpindahan kalor secara konveksi (W/m².K)
- A = Luas permukaan (m²)
- ΔT = Perbedaan suhu dinding plat dengan suhu fluida (K)

1.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Menurut (Cengel Yunus 2006) laju perpindahan kalor secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan 4.

$$Q = \epsilon . \sigma . A . T^4 \dots\dots\dots 4$$

Dimana:

- Q = laju aliran energy panas radiasi (W)
- ε = Emisivitas benda (W/m².K)
- A = Luas permukaan (m²)
- T = Suhu Permukaan (K)

1.4 Kondensor

Kondensor adalah salah satu alat yang berfungsi sebagai penukar panas jenis rekuperator. Rekuperator didefinisikan sebagai alat perpindahan panas yang cara kerjanya yaitu dimana terdapat suatu fluida yang terpisah dari fluida lainnyadengan pemisah yang berupa dinding atau sekat yang dilalui oleh panas (Arisandi and Arif 2020).

1.5 Kondensasi

Kondensasi adalah proses pelepasan kalor dari suatu sistem yang menyebabkan uap (*vapor*) berubah menjadi cair (*liquid*). Dalam proses merubah gas menjadi cair dapat dilakukan dengan cara

menaikkan tekanannya atau dengan menurunkan temperaturnya.

1.6 Keseimbangan energi untuk *heat exchanger* dengan fluida menurut (Holman JP 2010) dirumuskan dengan persamaan 5.

$$Q = \dot{m}_{air} \times C_{air} \times \Delta T_m = \dot{m}_c \times C_{udara} \times \Delta T_m \dots \dots \dots 5$$

Dimana:

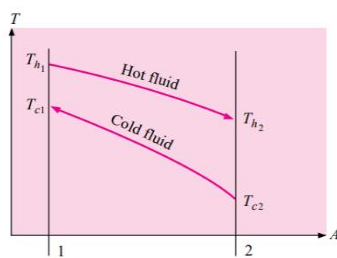
- \dot{m}_{air} = Laju aliran massa air (kg/s)
- C_{air} = Panas Spesifik air (J/kg.°C)
- ΔT_m = Perbedaan suhu rata-rata logaritmik (°C)
- \dot{m}_c = Laju aliran massa udara (kg/s)
- C_{udara} = Panas Spesifik udara (J/kg.°C)
- Q = Energi (J)

1.7 Dalam menghitung *Log Mean temperature Difference* (LMTD) menurut (Holman JP 2010) dapat dirumuskan dengan persamaan 6.

$$\Delta T_m = \frac{(Th_2 - Tc_2) - (Th_1 - Tc_1)}{\ln \frac{(Th_2 - Tc_2)}{(Th_1 - Tc_1)}} \dots \dots \dots 6$$

Dimana:

- Th_1 = Suhu minyak masuk (°C)
- Th_2 = Suhu minyak keluar (°C)
- Tc_2 = Suhu air masuk (°C)
- Tc_1 = Suhu air keluar (°C)



Gambar 1.2 Counter flow
Sumber: (Holman JP 2010)

1.8 Mencari Heatloss pada reaktor

Nilai Heatloss adalah nilai panas yang hilang selama proses berlangsung. Untuk satuan nilai heatloss itu menggunakan satuan (watt). Untuk mencari Heatloss pada reaktor dapat menggunakan persamaan 7 (Cengel Yunus 2006)

$$\text{Total heatloss} = Q_{kd} + Q_{kv} + Q_{rd} \dots \dots \dots 7$$

Dimana:

- Q_{kd} = Laju aliran energi konduksi (watt)
- Q_{kv} = Laju aliran energi konveksi (watt)
- Q_{rd} = Laju aliran energi radiasi (watt)

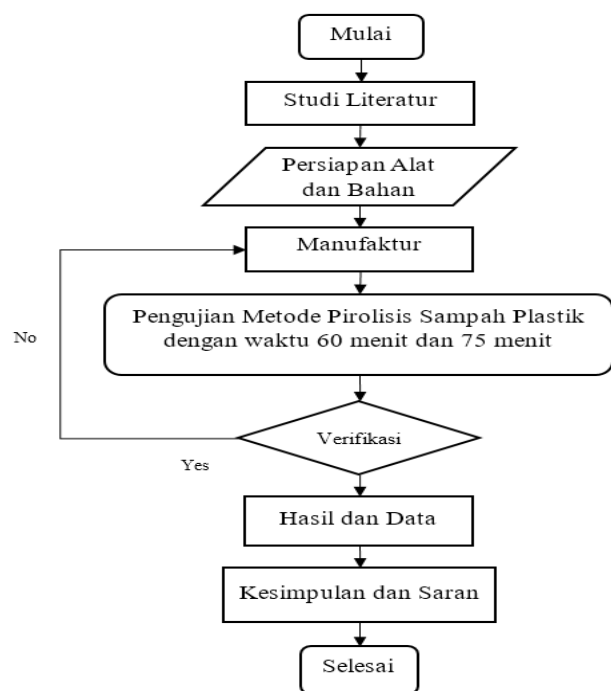
2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan waktu

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2021 sampai bulan Juli 2021. Tempat fabrikasi untuk mesin pirolisis dilakukan di bengkel CV. SAHABAT TEKNIK yang berlokasi di Jalan Purnawarman, Ciampea, Kabupaten Bogor. Kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Energi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Sains Universitas Ibn Khaldun Bogor.

2.2 Tahap Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Pirolisis untuk pengolahan sampah plastik sesuai dengan diagram alir berikut: Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

Alur Penelitian dilakukan dengan di mulai dari studi literatur. Persiapan alat dan bahan yang digunakan pada waktu penelitian. Pembuatan alat pirolisis yang digunakan pada waktu pengambilan data. Pengujian alat pirolisis dengan sampah plastik bungkus mie 60 menit dan bungkus kopi 75 menit. Temperatur yang digunakan pada tungku yaitu sebesar 400°C. Pengambilan data berupa profil suhu luar reaktor, dalam reaktor, input kondensor, output kondensor, air input kondensor, air output kondensor dan hasil minyak pirolisis, kemudian dilanjutkan dengan membuat grafik, analisis

perpindahan panas, analisis heatloss, analisis energi dan analisis LMTD.

2.2 Alat dan bahan

2.2.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Termokopel untuk mengukur suhu perpindahan panas yang terjadi pada kondensor.
2. *Thermometer* untuk mengukur suhu perpindahan panas di dalam reaktor.
3. *Toolset* untuk membuka dan mengencangkan baut pada reator
4. Timbangan digital untuk mengukur massa plastik dan kondensat.
5. Gelas ukur digunakan untuk mengukur massa minyak yang dihasilkan.
6. Pompa air digunakan untuk mensirkulasikan air pada kondensor.
7. Kompor gas digunakan untuk memanaskan tabung reaktor.
8. *Safety valve* digunakan untuk pengamanan tekanan agar tidak melebihi standar keamanan.
9. *Stopwatch* digunakan untuk mengontrol waktu dalam proses pirolisis.

2.2.2 Bahan

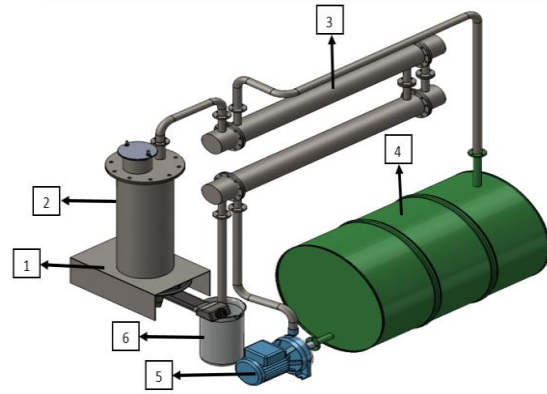
Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bahan sampah plastik bungkus mie instan dan bungkus kopi.
2. *Liquefied petroleum Gas* (LPG).
3. Air digunakan sebagai pendingin kondensor.

2.3 Proses Pengukuran

Pengujian alat pirolisis dilakukan dengan parameter, diantaranya yaitu performa minyak dan rendemen yang dihasilkan. Pengujian performa pada reaktor dilakukan untuk mengetahui laju perpindahan panas dan panas yang hilang pada reaktor. Pengujian performa kondensor dilakukan untuk mengetahui nilai LMTD pada kondensor dan mengetahui nilai energi pada kondensor tipe *shell and tube*.

Variabel yang akan diukur untuk mendapatkan rendemen yang dihasilkan yaitu massa plastik dan volume minyak yang dihasilkan. Rendemen yang dihasilkan menunjukkan massa awal bahan dan jumlah minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis. Pengujian ini dilakukan dengan memanaskan sampah plastik pada suhu 400 °C dengan waktu 60 menit dan 75 menit.



Gambar 2.3 Alat pirolisis

Keterangan:

1. Kompor / Burner
2. Reaktor
3. Kondensor
4. Water tank
5. Water pump
6. Gelas ukur

2.4 Data Penelitian

Data yang diperoleh dari hasil penelitian pada kondensor perpindahan panas dan hasil minyak pirolisis sampah plastik di tulis dalam bentuk tabel.

Tabel 2.1 Lembar pengambilan data perpindahan panas pada reaktor

Menit	Temp. dinding reaktor atas	Temp. ruang dalam reaktor	Temp. dinding Reaktor tengah
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			
75			

Tabel 2.2 Lembar pengambilan data perpindahan panas pada kondensor

No	Waktu (menit)	Reaktor (°C)	Th in (Gas Masuk) (°C)	Th out (Gas Keluar) (°C)	Tc in (Air Masuk) (°C)	Tc out (Air Keluar) (°C)	Minyak (ml)	Residu (gram)
1	0							
2	5							
3	10							
4	15							
5	20							
6	25							
7	30							
8	35							
9	40							
10	45							
11	50							
12	55							
13	60							

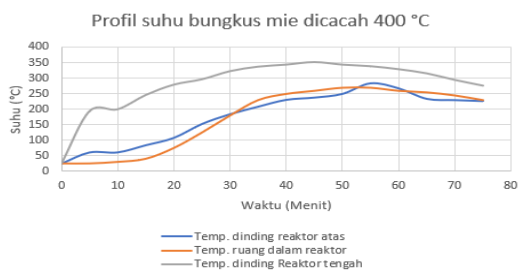
2.5 Analisa Data

Penelitian ini menggunakan analisa deskriptif dengan cara mengamati secara langsung kegiatan hasil eksperimen dan menyimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Hasil dari data penelitian meliputi volume minyak dari proses pirolisis, laju perpindahan panas pada reaktor dan kondensor, peforma kondensor, mengetahui nilai energi pada kondensor dan panas yang hilang pada reaktor. Data yang di peroleh dari hasil penelitian kemudian di tulis dalam bentuk tabel dan di tampilkan dalam bentuk diagram dan di analisa kemudian di tarik kesimpulan.

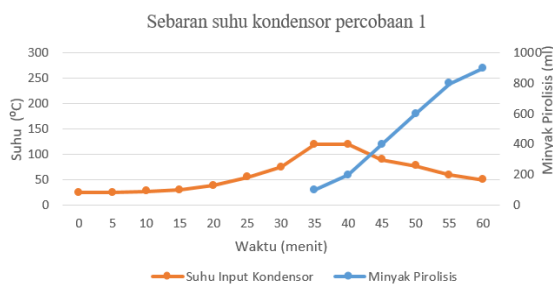
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian pada alat pirolisis didapatkan pada volume reaktor terlalu besar sehingga proses perpindahan panas pada reaktor tidak maksimal. Kemudian, reaktor dimodifikasi dengan mengurangi tinggi reaktor yang semula 80 cm dipotong menjadi 21 cm agar proses perpindahan panas reaktor menjadi lebih maksimal. Dan untuk kondensor arah aliran counter flow terhadap hasil kondensasi dan nilai laju perpindahan panas yang terjadi pada kondensor pirolisis sampah plastik. Pengujian pirolisis sampah plastik dilakukan sebanyak 4 kali percobaan. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan sampah plastik LDPE 1000 gram dengan mempertahankan suhu pada tungku 400 °C. Namun, kondisi dilapangan temperatur pada reaktor hanya mencapai 270 °C sebagai titik tertinggi. Penelitian dilakukan 4 kali percobaan yaitu 60 menit untuk bungkus mie instan dan 75 menit bungkus kopi.

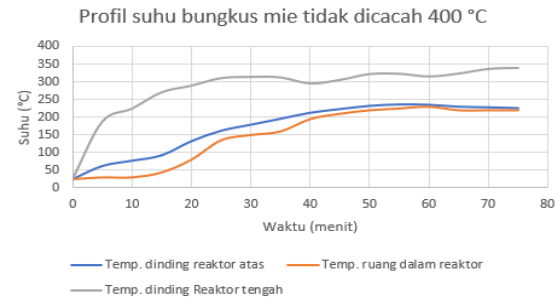
A. Hasil Data Proses Pirolisis



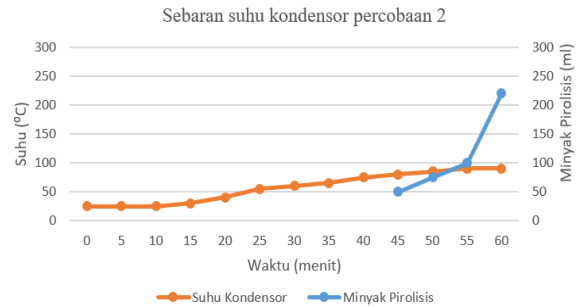
Gambar 2. 1 Grafik profil suhu reaktor pada percobaan pertama



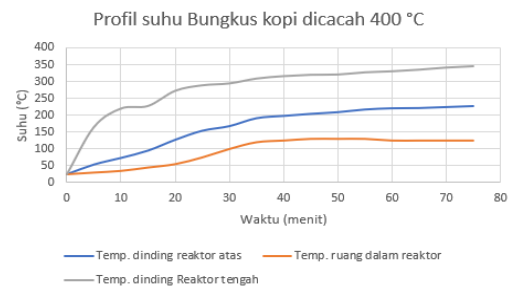
Gambar 2. 2 Grafik suhu kondensor dan massa minyak pirolisis percobaan pertama



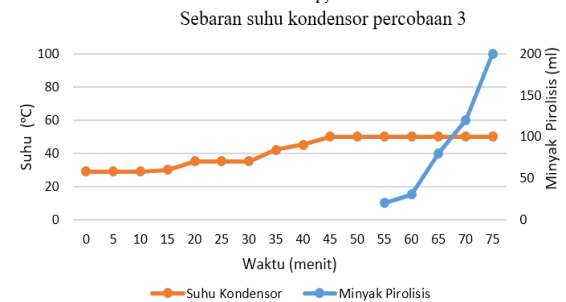
Gambar 2. 3 Grafik profil suhu reaktor pada percobaan kedua



Gambar 2. 4 Grafik suhu kondensor dan massa minyak pirolisis percobaan kedua



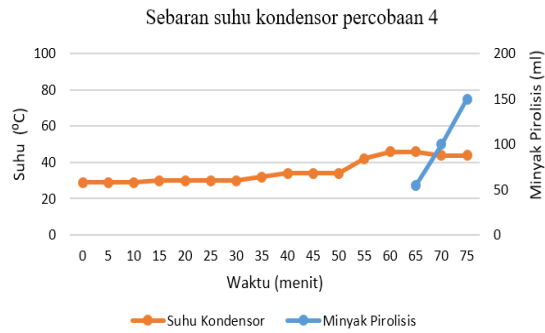
Gambar 2. 5 Grafik profil suhu reaktor pada percobaan ketiga



Gambar 2. 6 Grafik suhu kondensor dan massa minyak pirolisis percobaan ketiga



Gambar 2. 7 Grafik profil suhu reaktor pada percobaan keempat



Gambar 2. 8 Grafik suhu kondensor dan massa minyak pirolisis percobaan keempat



Gambar 2. 9 Grafik variasi minyak yang dihasilkan

Berdasarkan grafik percobaan 1-4 kali menunjukkan bahwa temperatur dalam reaktor memiliki titik tertinggi pada (1) 270 °C, (2) 230 °C, (3) 130 °C, (4) 130 °C. Sedangkan untuk kondensor titik tertinggi yaitu (1) 120 °C, (2) 90 °C, (3) 50 °C, (4) 46 °C. Sedangkan minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis percobaan 1-4 yaitu (1) 69% menjadi minyak, residu 5% dan sisanya 26% gas buang. (2) 16% menjadi minyak, residu 62.5% dan sisanya 21.5% gas buang. (3) 15% menjadi minyak, residu 46% dan sisanya 39% gas buang. (4) 10% menjadi minyak, residu 51.5% dan sisanya 38.5% gas buang.

B. Perhitungan Analisis Perpindahan panas pada reaktor

Analisa Perpindahan panas pada reaktor dapat dicari menggunakan persamaan 1.

Mencari U

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot di}{\mu} = \frac{(0,7048)(37,9 \times 10^6)(0,2)}{2,671 \times 10^{-5}} = 20$$

Termasuk laminar karena kurang dari 2000

$$hi = \frac{Nu \cdot k}{do} = \frac{(4,364)(0,03365)}{0,22} = 0,667 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$ho = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{do}\right)^{1/4} = 1,32 \left(\frac{350-30}{0,22}\right)^{1/4} = 8,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Mencari Luas penampang luar dan dalam reaktor

$$Ai = (2\mu ri)L = (2 \cdot 3,14 \cdot 0,1)(0,21) = 0,132 \text{ m}^2$$

$$Ao = (2\mu ro)L = (2 \cdot 3,14 \cdot 0,11)(0,21) = 0,145 \text{ m}^2$$

Mencari tahanan panas di dalam reaktor

$$Ri = \frac{1}{hi \cdot Ai} = \frac{1}{0,667 \cdot 0,132} = 11,32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Mencari tahanan panas dari bahan baja

$$Rs = \frac{\ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{2\mu k} = \frac{\ln\left(\frac{0,11}{0,1}\right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 46} = 0,016 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Mencari tahanan diluar reaktor

$$Ro = \frac{1}{ho \cdot Ao} = \frac{1}{8,45 \cdot 0,145} = 0,81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Mencari koefisien panas keseluruhan

$$Uo = \frac{1}{Ao(Ri+Rs+Ro)} = \frac{1}{0,145(11,36+0,016+0,81)} = 0,556 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$q = U \cdot A \cdot \Delta Tm = 0,556 \cdot 0,132 (350 - 190) = 11,95 \text{ Watt}$$

C. Perhitungan panas yang hilang pada reaktor

Analisa panas yang hilang pada reaktor dapat dicari menggunakan persamaan 7.

Perpindahan panas konduksi

$$Qkd = \frac{k \cdot Ao \cdot dT}{dx} = \frac{46 \cdot 0,145 \cdot (400 - 230)}{0,008} = 141.737,5 \text{ watt}$$

Perpindahan panas konveksi

$$Qkv = hi \cdot Ao \cdot dT = 0,667 \cdot 0,145 (230 - 30) = 19,343 \text{ watt}$$

Perpindahan panas radiasi

$$Qrd = \epsilon \cdot \sigma \cdot Ao \cdot T = 0,35 \cdot 5,67 \cdot 0,145 (230+273)(K) = 144,74 \text{ watt}$$

Mencari panas yang hilang pada reaktor

$$\begin{aligned} \text{Total Heatloss} &= Qkd+Qkv+Qrd \\ &= 141.737,5 + 482,85 + 144,74 \\ &= 141.901,583 \text{ watt} = 141,9 \text{ Kw} \end{aligned}$$

D. Perhitungan Analisis Energi Pada Kondensor

Analisa energi adalah energi yang terdapat pada kondensor *shell and tube* yang terjadi pada waktu proses pirolisis. Energi kondensor diperoleh menggunakan persamaan 6.

$$Q_1 = m_{\text{air}} \times C_{\text{air}} (T_o - T_i) = \dot{m}_c \times C_{\text{udara}} (T_i - T_o)$$

$$Q_1 = 0.3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (30 - 29)^\circ\text{C} = \dot{m}_c \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (120 - 36)^\circ\text{C}$$

$$1260 \text{ J} = \dot{m}_c \times 84000$$

$$m = \frac{1260}{84000}$$

$$m = 0.015 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

maka nilai energi dan laju aliran massa

$$Q_1 = 1260 \text{ J}$$

$$m = 0.015 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_2 = m_{\text{air}} \times C_{\text{air}} (T_o - T_i) = \dot{m}_c \times C_{\text{udara}} (T_i - T_o)$$

$$Q_2 = 0.3 \times \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (31.3 - 30.6)^\circ\text{C} = \dot{m}_c \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (90 - 35)$$

$$882 \text{ J} = \dot{m}_c \times 55000$$

$$m = \frac{882}{55000}$$

$$m = 0.016 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

maka nilai energi dan nilai laju aliran massa

$$Q_2 = 882 \text{ J}$$

$$m = 0.016 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_3 = m_{\text{air}} \times C_{\text{air}} (T_o - T_i) = \dot{m}_c \times C_{\text{udara}} (T_i - T_o)$$

$$Q_3 = 0.3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (31.7 - 31.4)^\circ\text{C} = \dot{m}_c \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (50 - 35)^\circ\text{C}$$

$$378 \text{ J} = \dot{m}_c \times 15000$$

$$m = \frac{378}{15000}$$

$$m = 0.025 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

maka nilai energi dan laju aliran massa

$$Q_3 = 378 \text{ J}$$

$$m = 0.025 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_4 = m_{\text{air}} \times C_{\text{air}} (T_o - T_i) = \dot{m}_c \times C_{\text{udara}} (T_i - T_o)$$

$$Q_4 = 0.3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (30.7 - 30.4)^\circ\text{C} = \dot{m}_c \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (46 - 31)^\circ\text{C}$$

$$378 \text{ J} = \dot{m}_c \times 15000$$

$$m = \frac{378}{15000}$$

$$m = 0.025 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

maka nilai energi dan laju aliran massa

$$Q_4 = 378 \text{ J}$$

$$m = 0.025 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

E. Analisis Log Mean Temperatur Difference (LMTD)

Log mean temperature difference adalah transfer panas yang terjadi dari fluida bersuhu tinggi ke fluida bersuhu rendah. Menghitung Log Mean Temperatur Difference (LMTD) menggunakan persamaan 5.

Percobaan 1

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

$$= \frac{(36 - 29) - (120 - 30)}{\ln \frac{(36 - 29)}{(120 - 30)}}$$

$$= \frac{7 - 90}{\ln \left(\frac{7}{90} \right)}$$

$$= 32.5^\circ\text{C}$$

Percobaan 2

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

$$= \frac{(35 - 30.6) - (90 - 31.3)}{\ln \frac{(35 - 30.6)}{(90 - 31.3)}}$$

$$= \frac{4.4 - 58.7}{\ln \left(\frac{4.4}{58.7} \right)}$$

$$= 20.9^\circ\text{C}$$

percobaan 3

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

$$= \frac{(35 - 31.4) - (50 - 31.7)}{\ln \frac{(35 - 31.4)}{(50 - 31.7)}}$$

$$= \frac{3.6 - 18.3}{\ln \left(\frac{3.6}{18.3} \right)}$$

$$= 9^\circ\text{C}$$

Percobaan 4

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

$$= \frac{(31 - 30.4) - (46 - 30.7)}{\ln \frac{(31 - 30.4)}{(46 - 30.7)}}$$

$$= \frac{0.6 - 15.3}{\ln \left(\frac{0.6}{15.3} \right)}$$

$$= 4.6^\circ\text{C}$$

F. Mencari Nilai Ekonomi dari proses pirolisis

Untuk mencari nilai ekonomi dari proses Pirolisis, kita harus mencari terlebih dahulu kalkulasi rupiah pemakaian gas dan pemakaian pompa. Untuk kalkulasi harga produk karena minyak hasil pirolisis masuk pada kualifikasi sebagai kerosin atau minyak tanah karena nilai kalor yang hampir sama yaitu sebesar 43,32 MJ/kg. Untuk mencari nilai ekonomi/kg proses pirolisis dapat menggunakan perhitungan.

Harga Produk/kg

Harga Produk/kg = Harga minyak tanah/L x volume minyak yang dihasilkan

Harga Produk/kg = Rp 12.900 x 0,9 L = Rp 11.610

Biaya pemakaian gas selama 1,25 jam

Biaya pemakaian gas = Harga gas/3 kg x Pemakaian gas

Biaya pemakaian gas = Rp 20.000/ 3 kg x 1,5 kg = Rp 10.000

Biaya Pemakaian pompa selama 1,25 jam

Biaya Pemakaian pompa = Harga tarif listrik/kwh x Daya pemakaian pompa

Biaya Pemakaian pompa = Rp 1.444,7 x 156,25 watt = Rp 225

Nilai ekonomi/kg = (harga produk/1 kg – Σbiaya produksi/1 kg)

Nilai ekonomi/kg = Rp 11.610 – (Rp 10.000 + Rp 225) = Rp 1.385

4. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan yaitu:

1. Terdapat beda pengaruh laju pindah panas pada plastik bungkus mie dan bungkus kopi. Untuk plastik bungkus mie temperatur yang dihasilkan lebih cepat panas dibandingkan dengan temperatur pada pirolisis menggunakan bungkus kopi. Perbedaan nilai laju pindah panas antara percobaan menggunakan bungkus mie dan bungkus kopi sebesar 3,4 °C/menit.
2. Plastik yang digunakan pada penelitian lebih baik dicacah karena pembakaran dalam reaktor lebih cepat dan merata, hasil proses pirolisis akan lebih maksimal diiringi suhu yang semakin tinggi pada reaktor dan akan diikuti suhu pada kondensor juga semakin tinggi dan hasil minyak pirolisis juga semakin banyak.
3. Dari performa kondensor proses pirolisis percobaan 1-4 kali menunjukan hasil data LMTD 32.5 °C, 20.9 °C, 9 °C dan 4.6 °C dari hasil tersebut performa kondensor lebih baik pada percobaan 1 menunjukan hasil kondensasi pada kondensor minyak yang dihasilkan lebih banyak yaitu 69% dibanding percobaan 2, 3 dan 4 yaitu 16%, 15% dan 10%.
4. Energi yang dihasilkan dari kondensor *shell and tube* pada percobaan 1-4 menunjukan bahwa energi lebih besar pada percobaan pertama 1260 J sedangkan percobaan 2, 3

dan 4 yaitu 882 J, 378 J dan 378 J. Energi tersebut semakin tinggi nilai energi pada kondensor semakin banyak minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis.

5. Terdapat banyak panas yang hilang selama proses pirolisis, berdasarkan perhitungan nilai heatloss yang didapatkan sebesar 141,9 Kw. Faktor diantaranya seperti tidak ada isolator pada dinding reaktor sehingga mempengaruhi laju perpindahan panas yang tidak maksimal. Dan faktor lainnya seperti ruang pembakaran yang terlalu luas akan mempengaruhi laju kenaikan suhu pada pembakaran.

B. Saran

Adapun saran yang diberikan dalam penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Perlu dilakukan perhitungan terhadap reaktor yang akan digunakan untuk menambah efisiensi dari proses pirolisis, sehingga akan mengurangi panas yang hilang selama proses dan laju perpindahan panas akan semakin baik.
2. Perlu dilakukan perbaikan pada pipa reaktor ke kondensor agar tidak terlalu panjang sehingga uap yang ada pada reaktor akan lebih cepat masuk kondensor meminimalisir terjadinya kondensasi sebelum masuk kondensor, hasil minyak pirolisis tidak kembali ke dalam reaktor.
3. Perlu digunakan pembakaran gas LPG untuk ukuran lebih besar sesuai dengan burner yang dipakai agar gas di dalam tabung tidak cepat membeku karena akan mempengaruhi api pada burner mengecil.
4. Perlu dilakukan penelitian menggunakan *heater* sebagai pemanas reaktor agar panas yang dihasilnya stabil.
5. Plastik yang digunakan pada penelitian akan lebih baik jika dicacah terlebih dahulu sebelum dilakukan proses karena jika ukuran plastik yang digunakan semakin kecil maka akan semakin mudah terbakar sehingga otomatis pembakaran pada reaktor juga akan semakin baik. Dan temperatur yang dihasilkan pada reaktor juga akan semakin tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH (JIKA ADA)

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT. Atas berkat rahmat dan hidayah-nya,

sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada:

1. Bapak dan Ibu yang telah memberikan doa dan dukungan kepercayaan, pengertian, kesabaran dan dukungan moril maupun materil demi kelancaran penyusunan skripsi ini.
2. Dr. H.M. Nanang, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor.
3. Bapak Dwi Yuliaji, S.T.,M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Ibn Khaldun Bogor.
4. Dosen *Engineering development for Energy Covension and Conservasion* (EDfEC) PSTM FTS UIKA Bogor.
5. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor yang telah membantu dalam penyusunan skripsi.
6. Semua rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Ibn Khaldun Bogor Angkatan 2017 yang telah membantu dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Karya Ilmiah ini masih banyak kekurangan, baik dalam isi maupun dalam penyajiannya, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Laporan Karya Ilmiah ini. Harapan penulis semoga laporan ini bermanfaat untuk diri pribadi dan masyarakat umumnya.

REFERENSI

- Arisandi, Yusuf, and Mochamad Arif. 2020. "Analisa Pengaruh Panjang Pipa Tembaga Kondensor Terhadap Volume Hasil Minyak Pada Alat Pirolisis." 1(2).
- Cengel Yunus. 2006. *Heat Transfer*. Vol. 37.
- Gandawidura, RGG. 2019. "Desain Dan Uji Kinerja Kondensor Pirolisis Plastik." [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Holman JP. 2010. "Heat Transfer." *Department of Mechanical Engineering Southern Methodist University (US): McGraw-Hill*. 301-3.
- Kumar, and Panda et al. 2011. "A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylene to Fuel." *Resources, Conservation and Recycling*.
- Naimah, and Nuraeni et al. 2012. "Dekomposisi

Limbah Plastik Polypropylene Dengan Metode Pirolisis." *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science* 13(3):226-29.

Sumarni, and Purwanti A. 2008. "Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Poliethylene (LDPE)." *Jurnal Teknologi*. 1(2): 135 -140. 135-40.

Surono, Untoro Budi. 2013. "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak." *Jurnal Teknik* 3(1):32-40.