



**PENGARUH ARAH ALIRAN AIR PENDINGIN PADA  
KONDENSOR TERHADAP HASIL PENGEMBUNAN  
PROSES PIROLISIS LIMBAH PLASTIK**

**SKRIPSI**

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk  
memperoleh gelar Sarjana Pendidikan  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**Oleh:  
Sigit Haryadi  
5201411057**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2015**







## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Sigit Haryadi  
NIM : 5201411057  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1  
Judul Skripsi : Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin pada Kondensor terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

### Panitia Ujian

		Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Rusiyanto, S.Pd., M.T. NIP. 197403211999031002		22/1/16
Sekretaris	: Wahyudi, S.Pd., M.Eng NIP. 198003192005011001		23/1/16
Dewan Penguji			
Pembimbing	: Dr. Basyirun, S.Pd., M.T. NIP. 196809241994031002		24/01-2016
Penguji Utama I	: Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D NIP. 197601012003121002		.....
Penguji Utama II	: Dr. M. Burhan RW, M.Pd. NIP. 196302131988031001		.....
Penguji Pendamping	: Dr. Basyirun, S.Pd., M.T. NIP. 196809241994031002		24/01-2016

Ditetapkan tanggal: ....., Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T.  
NIP. 195911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama Mahasiswa : Sigit Haryadi  
NIM : 5201411057  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1  
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin pada Kondensor terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik**" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 20 November 2015

Yang membuat pernyataan



Sigit Haryadi

NIM 5201411057

## ABSTRAK

**Sigit Haryadi. 2015.** Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dr. Basyirun, S.Pd., M.T.

Kata Kunci: Variasi Arah Aliran Air Pendingin, Hasil Kondensasi, Kondensor.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh arah aliran air pendingin pada kondensor prototipe reaktor pirolisis sampah plastik terhadap hasil kondensat minyak plastik yang didapatkan. Variasi arah aliran air pendingin kondensor yang digunakan yaitu arah aliran searah (*parallel flow*) dan berlawanan arah (*counter flow*).

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen. Data hasil penelitian dianalisa dengan cara mengamati secara langsung hasil eksperimen kemudian menyimpulkan dan menentukan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam bentuk grafik dan tabel untuk mendapatkan persamaan fungsi kuadrat dan nilai korelasi hubungannya. Dua hal yang diamati dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi arah aliran air pendingin terhadap jumlah minyak plastik yang dihasilkan dan pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap jumlah minyak plastik yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan aliran berlawanan arah (*counter flow*) lebih tinggi nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik yang dihasilkan, untuk jenis plastik *PP* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 1.642 Watt dengan hasil minyak sejumlah 360 ml dan untuk jenis plastik *HDPE* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 1.218 Watt dengan hasil minyak sejumlah 400 ml, sedangkan untuk aliran searah (*parallel flow*) lebih rendah dengan hasil, untuk jenis plastik *PP* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 863 Watt dengan hasil minyak 314 ml dan untuk jenis plastik *HDPE* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 723 Watt dengan hasil minyak 363 ml.

## **ABSTRACT**

**Sigit Haryadi. 2015.** *The Effect of Water Cooling Flow Direction towards Plastic Waste Pyrolysis Process Condensation Result. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Semarang State University. Dr. Basyirun, S.Pd., M.T.*

*Keywords: variation of water cooling flow direction, Condensation Result, Condensation.*

*The purpose of this research is to determine the effect of variation of water cooling flow direction in prototype pyrolysis reactor condenser of plastic waste towards plastic oil condensate produced. The variations of water cooling flow direction are parallel flow and counter flow.*

*This research uses experimental method. The data of the research is analysed by observing the result of experiment directly. The conclusion of research is in the form of graphic and table to get quadratic function and correlation relationship. This research observes two things; they are the effect of variation of water cooling flow direction and the heat transfer rate toward amount of plastic oil produced.*

*The result shows heat transfer rate of counter flow is higher than parallel flow for producing plastic oil. The highest heat transfer rate of counter flow for PP plastic is 1.642 Watt and 360 ml oil produced, for HDPE plastic is 1.218 Watt and 400 ml oil produced. On the other hand, the highest heat transfer rate of parallel flow for PP plastic is 863 Watt and 314 ml oil produced. For HDPE plastic is 863 223 Watt and 363 ml oil produced.*

## PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat diselesaikan skripsi dengan judul “**Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin pada Kondensor terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik**” dalam rangka menyelesaikan studi Strata Satu untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bimbingan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kepada kedua orang tua yang senantiasa memberikan semangat dan do'anya
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Basyirun S.Pd, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran, dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian proposal skripsi ini.
5. Hendra Prasetyo, Rudhiyanto, Fahmi Zuhda Bahtiar, Khoirul Albab atas bantuan, semangat dan masukan yang diberikan selama penelitian.
6. Teman-teman seperjuangan PTM 2011 dan semua pihak yang telah memberikan motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian proposal skripsi ini.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan dunia pendidikan pada khususnya.

Semarang, November 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>PRAKATA</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	2
C. Pembatasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA</b> .....	6
A. Landasan Teori.....	6
1. Pengenalan Bahan Bakar.....	6
2. Pengenalan Plastik .....	8
3. Pirolisis .....	11
4. Kondensasi .....	12
5. Kondensor .....	14
6. Aliran Fluida .....	17



7.	Debit Aliran Fluida .....	20
8.	Efektivitas Perpindahan Panas .....	20
B.	Kajian Penelitian yang Relevan .....	21
C.	Kerangka Pikir Penelitian.....	22
D.	Hipotesis Penelitian.....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>25</b>
A.	Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	25
1.	Waktu Penelitian .....	25
2.	Tempat Pelaksanaan.....	25
B.	Desain Penelitian.....	25
C.	Alat dan Bahan Penelitian.....	26
1.	Alat Penelitian.....	26
2.	Bahan Penelitian.....	27
D.	Parameter Penelitian.....	28
1.	Variabel Independen .....	28
2.	Variabel Dependen.....	28
E.	Teknik Pengumpulan Data.....	28
1.	Skema Peralatan Penelitian.....	28
2.	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	31
3.	Proses Penelitian .....	32
4.	Data Penelitian .....	34
F.	Teknik Analisis Data.....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>37</b>
A.	Hasil Penelitian .....	37
1.	Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Terhadap Hasil Minyak .....	37
2.	Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin terhadap Laju Perpindahan Panas .....	38
B.	Pembahasan.....	41

1. Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Terhadap Hasil Minyak .....	41
2. Pengaruh Nilai Laju Perpindahan Panas Pada Kondensor Terhadap Hasil Minyak.....	44
C. Keterbatasan Penelitian .....	53
<b>BAB IV PENUTUP .....</b>	<b>54</b>
A. Simpulan.....	54
B. Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>59</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Polimerisasi dari <i>ethylene</i> ke <i>poliethylene</i> .....	8
Gambar 2.1.	Nomor Kode Plastik .....	10
Gambar 2.3.	Profil Kondensasi Film.....	13
Gambar 2.4.	Profil Kondensasi Tetes.....	14
Gambar 2.5.	<i>Counter Flow</i> .....	15
Gambar 2.6.	<i>Parallel Flow</i> .....	16
Gambar 2.7.	Aliran Laminar .....	19
Gambar 2.8.	Aliran Turbulen .....	19
Gambar 3.1.	Rangkaian Reaktor Pirolisis Sampah Plastik .....	28
Gambar 3.2.	Rangkaian Detail Kondensor <i>Shell and Tube</i> .....	29
Gambar 3.3.	Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 4.1	Jumlah minyak plastik yang diperoleh dengan variasi arah aliran air pendingin untuk plastik jenis <i>PP</i> .....	41
Gambar 4.2	Jumlah minyak plastik yang diperoleh dengan variasi arah aliran air pendingin untuk plastik jenis <i>HDPE</i> .....	42
Gambar 4.3	Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas untuk proses kondensasi uap plastik jenis <i>PP</i> .....	45
Gambar 4.4	Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas untuk proses kondensasi uap plastik jenis <i>HDPE</i> .....	45
Gambar 4.5	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis <i>PP</i> untuk jenis aliran air pendingin <i>counter flow</i> .....	47
Gambar 4.6	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis <i>HDPE</i> untuk jenis aliran air pendingin <i>counter flow</i> .....	48

Gambar 4.7	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis <i>PP</i> untuk jenis aliran air pendingin <i>parallel flow</i> .....	49
Gambar 4.8	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis <i>HDPE</i> untuk jenis aliran air pendingin <i>parallel flow</i> .....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Jenis Plastik, Kode, dan Penggunaannya .....	9
Tabel 2.2.	Data Temperatur Transisi dan Temperatur Lebur Plastik.....	10
Tabel 2.3.	Parameter operasi proses pirolisis .....	11
Tabel 3.1.	Desain Penelitian .....	26
Tabel 3.2	Lembar Pengambilan Data Penelitian Hasil Minyak Plastik Berupa Jumlah Volume yang Dihasilkan.....	34
Tabel 3.3.	Lembar Pengambilan Data Penelitian Laju Perpindahan Panas yang Terjadi di dalam Kondensor .....	35
Tabel 4.1	Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap jumlah minyak plastik yang didapatkan pada jenis plastik <i>PP</i> dan <i>HDPE</i> jenis aliran <i>Counter Flow</i> . .....	37
Tabel 4.2	Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap jumlah minyak plastik yang didapatkan pada jenis plastik <i>PP</i> dan <i>HDPE</i> jenis aliran <i>Parallel Flow</i> . .....	38
Tabel 4.3	Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas proses kondensasi uap plastik jenis <i>PP</i> dan <i>HDPE</i> jenis aliran <i>Counter Flow</i> . .....	38
Tabel 4.4	Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas proses kondensasi uap plastik jenis <i>PP</i> dan <i>HDPE</i> jenis aliran <i>Parallel Flow</i> . .....	39
Tabel 4.5	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik <i>PP</i> untuk variasi arah aliran <i>counter flow</i> .....	39
Tabel 4.6	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik <i>HDPE</i> untuk variasi arah aliran <i>counter flow</i> .....	40
Tabel 4.7	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik <i>PP</i> untuk variasi arah aliran <i>Parallel flow</i> .....	40

Tabel 4.8	Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik <i>HDPE</i> untuk variasi arah aliran <i>Parallel flow</i> .....	40
Tabel 4.9	Interpretasi Nilai R.....	43

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1.	Daftar Singkatan.....	60
Lampiran 2.	Hasil Penelitian.....	61
Lampiran 3.	Dokumentasi Penelitian.....	62
Lampiran 4.	Surat Keputusan Penetapan Dosen Pembimbing .....	70
Lampiran 5.	Surat Tugas Dosen Pembimbing dan Penguji .....	71
Lampiran 6.	Surat Izin Penelitian .....	72

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Rancang bangun *prototype* pengolah limbah sampah plastik menjadi bahan bakar cair alternatif terdiri dari dua komponen utama, antara lain *reactor* sebagai tempat terjadinya pemanasan sampah plastik menjadi uap polimer tanpa udara atau dengan udara yang terbatas (*pirolisis*) dan kondensor yaitu tempat terjadinya proses pengembunan dari uap menjadi cair (kondensasi). Selain proses pemanasan, proses pengembunan juga sangat penting untuk menghasilkan kualitas bahan bakar yang baik.

Kondensasi merupakan proses yang terjadi ketika uap jenuh bersentuhan dengan suatu permukaan yang suhunya lebih rendah (Kreith, 1991: 524). Dalam proses kondensasi terjadi proses pelepasan kalor dari suatu sistem yang menyebabkan uap (*vapor*) berubah menjadi cair (*liquid*). Kondensor merupakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi sebagai media terjadinya proses kondensasi. Proses kondensasi di dalam kondensor terjadi dengan cara penurunan temperature dari salah satu fluida kerjanya. Di dalam kondensor terjadi proses perpindahan panas dari uap yang berperan sebagai fluida panas dan air yang berperan sebagai fluida dingin.

Kinerja kondensor dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain desain kondensor, nilai konduktivitas bahan, kerapatan lapisan isolasi pada



kondensor, suhu lingkungan pengoperasian, *fouling factor* (faktor pengotoran), jenis fluida pendingin, debit aliran air pendingin dan arah aliran fluida. Desain yang dipilih akan banyak memberikan pengaruh terhadap hasil kondensasi, karena bentuk geometri dari suatu kondensor berpengaruh terhadap proses transfer panas yang terjadi didalamnya. Nilai konduktivitas bahan suatu kondensor memberikan pengaruh besar terhadap efektivitas proses transfer panas yang terjadi di dalam kondensor, karena semakin tinggi nilai konduktivitas bahan maka proses transfer panasnya akan semakin baik dan efisiensi akan meningkat.

Berdasarkan uraian tersebut di atas peneliti akan memfokuskan penelitian terhadap kinerja *kondensor* pada *reaktor pengolah limbah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif*. Oleh karena itu peneliti mengambil judul **“Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin pada Kondensor terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik”**.

## **B. Identifikasi Masalah**

Hasil kondensasi dipengaruhi oleh seberapa besar efektivitas kerja kondensor. Efektivitas kondensor dipengaruhi oleh beberapa faktor yang teridentifikasi pada latar belakang masalah di atas. Faktor-faktor yang mempengaruhinya antara lain adalah: desain kondensor, nilai konduktivitas bahan, kerapatan isolasi kondensor, suhu lingkungan pengoperasian, jenis fluida pendingin, arah aliran fluida, debit air pendingin dan *fouling factor* (faktor pengotoran).

Prototipe reaktor pirolisis sampah plastik yang dikembangkan Teknik Mesin Unnes mempunyai spesifikasi sebagai berikut: Kondensor yang digunakan yaitu kondensor bertipe *double pipe* atau bisa juga disebut *double pipe water-cooled condenser* menggunakan fluida pendingin berupa air. Bahan kondensor adalah tembaga dan *stainless steel*. Isolator kondensor adalah *glass woll* yang dililitkan di bagian pipa luar kondensor dan di bagian pipa-pipa penghantar.

Kondensor yang dipakai dalam prototipe reaktor pirolisis sampah plastik ini dari beberapa spesifikasinya telah memenuhi beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja kondensor. Namun masih ada beberapa faktor lain yang masih mempengaruhi efektivitas kerja kondensor. Salah satu faktor yang memiliki pengaruh besar dan perlu untuk diteliti adalah arah aliran air pendingin.

### **C. Pembatasan Masalah**

Didasarkan pada luasnya bahasan tentang *kondensor*, maka pembahasan dibatasi pada variasi arah aliran air pendingin dengan karakteristik pelaksanaan sebagai berikut:

1. Variasi arah aliran air yang berbeda pada *double pipe water cooled condenser* dalam mengkondensasikan uap plastik hasil pirolisis
2. Variasi jenis sampah plastik yang akan diuji yaitu sampah plastik HDPE ( *High Density Polyethylene* ) dan PP (*polypropylene*).
3. Penelitian ini menggunakan kondensor tipe *double pipe water cooled condenser*.

4. Parameter efektivitas kerja kondensor dinilai dari hasil minyak plastik yang didapatkan dan besar perpindahan panas yang terjadi di dalamnya.
5. Tekanan kerja uap plastik dijaga pada kondisi 1 atm ( 14,6 psi).
6. Proses pirolisis di dalam tabung reaktor dilakukan dengan suhu operasi 300 °C.
7. Suhu awal air pendingin dalam kondensor dijaga sebesar 26 °C.
8. Variasi debit air pendingin dalam pengoperasian prototipe reaktor pirolisis sampah plastik dioperasikan pada variasi debit 2 liter/menit, 2,5 liter/menit, 3 liter/menit, 3,5 liter/menit dan 4 liter/menit
9. Waktu pemanasan plastik di dalam tabung reaktor 17,5 menit.
10. Massa plastik dalam proses operasi adalah 500 gram.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh arah aliran air searah dengan laju uap (*Parallel Flow*) terhadap kinerja kondensor tipe *double pipe water cooled condenser*.
2. Seberapa besar pengaruh arah aliran air berlawanan arah dengan laju uap (*Counter Flow*) terhadap kinerja kondensor tipe *double pipe water cooled condenser*.

### **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh variasi arah aliran air pendingin kondensor terhadap minyak plastik yang dihasilkan.
2. Mengetahui arah aliran air pendingin yang paling optimal dalam operasi pengkondensasian uap plastik hasil pirolisis.
3. Mengetahui laju transfer panas yang terjadi dalam kondensor tipe *double pipe water cooled condenser*.

### **F. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Setelah mengetahui pengaruh variasi arah aliran air pendingin terhadap minyak plastik yang dihasilkan, diharapkan dapat memberikan wawasan pengetahuan tentang pengkondensasian uap plastik yang lebih efisien.
2. Setelah mengetahui arah aliran air pendingin yang paling optimal dalam operasi pengkondensasian uap plastik hasil pirolisis, diharapkan bisa dijadikan standar pengoperasian kondensor pada *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik.
3. Setelah mengetahui efektivitas transfer panas yang terjadi dalam kondensor tipe *double pipe water cooled condenser*, diharapkan mampu memberikan gambaran guna penyempurnaan kedepan *double pipe water*

*cooled condenser* dalam proses pengkondensasian uap plastik hasil pirolisis.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Landasan Teori**

##### **1. Pengenalan Bahan Bakar**

###### **a. Pengertian Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembakaran. Tanpa adanya bahan bakar tersebut pembakaran tidak akan mungkin dapat berlangsung. Banyak sekali jenis bahan bakar yang kita kenal dalam kehidupan kita sehari-hari. Penggolongan ini dapat dibagi berdasarkan dari asalnya, bahan bakar dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu : bahan bakar nabati, bahan bakar mineral dan bahan bakar fosil. Apabila dilihat dari bentuknya, maka bahan bakar dibagi menjadi tiga bentuk, yaitu : bahan bakar padat, bahan bakar cair, dan bahan bakar gas (Suprpto, 2004: 5)

###### **b. Pengertian Bahan Bakar Minyak**

Bahan bakar minyak adalah bahan bakar mineral cair yang diperoleh dari hasil tambang pengeboran sumur-sumur minyak, dan hasil kasar yang diperoleh disebut dengan minyak mentah atau *crude oil*. Hasil dari pengolahan minyak mentah ini akan menghasilkan bermacam bahan bakar yang memiliki kualitas berbeda-beda (R.P. Koesoemadinata, 1980).

Kebanyakan senyawa yang ditemukan dalam minyak bumi adalah gabungan dari hidrogen dan karbon. Material-material ini disebut hidrokarbon. Senyawa lain yang ada seperti belerang, oksigen, dan nitrogen.

Pengoperasian fisik dari kilang minyak seperti: penguapan, penggesekan, dan pendinginan untuk menentukan jenis hidrokarbon yang besar karena dalam material tersebut merupakan bagian yang penting dalam minyak, tetapi pengoperasian secara kimiawi, seperti: pengilangan dan penyaringan. (Suprpto, 2004: 7).

### **c. Cara Memperoleh Bahan Bakar Mineral**

Bahan bakar minyak mineral ini didapatkan dari tambang sehingga sering juga disebut sebagai minyak bumi ataupun minyak mineral atau juga minyak tambang. Bahan bakar mineral ini sangat penting artinya bagi kehidupan manusia, karena dunia memerlukan begitu banyak bahan bakar mineral sehingga manusia mencarinya dimana-mana. Adanya kebutuhan yang banyak itu maka eksploitasi terhadap minyak bumi dilakukan secara besar-besaran. Keadaan yang seperti itu dikhawatirkan akan memacu terjadinya kelangkaan minyak dunia. Teknologi modern tentang pengolahan minyak telah ditemukan dengan cara melakukan penyulingan terhadap minyak bumi. Proses dimulai dengan memasukkan saluran pipa ke dalam sumur galian yang di dalamnya mengandung minyak, gas, dan air. Pipa tersebut kemudian di hubungkan dengan menara destilasi, yang mana di dalam menara itu minyak mentah dan gas alam akan diproses dengan temperatur yang tinggi agar menguap dan dapat dipisahkan menjadi jenis bahan bakar yang berbeda-beda (Suprpto, 2004: 17).

Kebutuhan minyak dunia yang semakin lama semakin banyak maka seluruh Negara di Dunia mencari alternatif energi lain yang bisa memenuhi



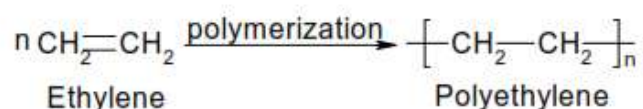
kebutuhan akan bahan bakar minyak tersebut. Karena seperti yang kita ketahui bahwa minyak bumi yang terkandung dalam perut bumi ini jika diambil terus menerus akan habis, untuk memperbaharunya pun membutuhkan waktu yang sangat lama.

Sekarang ini telah banyak ditemukan penemuan-penemuan tentang alat yang bisa membuat energi alternatif lain, misalnya energi panas matahari, energi biodiesel, dan energi hasil pirolisis.

## 2. Pengenalan Plastik

### a. Pengertian Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur



penyusun utamanya adalah karbon dan hidrogen (Surono, 2013: 33).

Gambar 2.1. Polimerisasi dari *ethylene* ke *poliethylene*  
(Sumber: Gao, 2010: 12)

Secara umum, kelebihan plastik dibanding dengan material lain, diantaranya adalah kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah,

mudah diberi warna, mudah dibentuk, serta isolator panas dan listrik yang baik (Surono, 2013: 33).

Sampah plastik merupakan salah satu sampah organik yang diproduksi setiap tahun oleh seluruh dunia. Pada umumnya sampah plastik tersebut memiliki komposisi 46 % polyethylene (HDPE dan LDPE), 16 % polypropylen (PP), 16 % polystyrene (PS), 7 % polyvinyl chloride (PVC), 5 % polyethylene terephthalate (PET), 5 % acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), dan 5 % polimer-polimer yang lainnya (Vasile. C, 2002).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan (Surono, 2013: 33).

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya.

Tabel 2.1. Jenis Plastik dan penggunaannya  
(Sumber: Sharobem, 2010: 13)

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1	<i>PET (polyethylene terephthalate)</i>	Botol minuman dan kantong makanan
2	<i>HDPE (High-density Polyethylene)</i>	Botol minuman, kantong makanan, detergen botol, kantong belanja dan ritel
3	<i>PVC (Polyvinyl Chloride)</i>	Kemasan makanan dan bukan makanan, tabung medis, dinding, bingkai jendela, ubin
4	<i>LDPE (Low-density Polyethylene)</i>	Wadah roti dan makanan beku, botol yang bisa diremas

5	<i>PP (Polypropylene atau Polypropene)</i>	Botol obat dan kantong makanan
6	<i>PS (Polystyrene)</i>	Gelas, piring, dan karton telur
7	<i>Other (O)</i> , jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6	Botol air yang dapat digunakan lagi, botol makanan dan minuman



Gambar 2.2. Nomor kode plastik  
(Sumber: Kurniawan, 2012)

#### **b. Sifat Termal Bahan Plastik**

Pengetahuan sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi.

Temperatur transisi adalah temperatur di mana plastik mengalami perenggaan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Diatas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. Temperatur lebur adalah temperatur dimana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya (Budyantoro, 2010: 52-54)

Data sifat termal yang penting pada proses daur ulang plastik bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik  
(Sumber: Budiyantoro, 2010: 54)

No	Jenis Bahan	T <sub>m</sub> (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	Temperatur Kerja Maks. (°C)
1	PP	168	5	80
2	HDPE	134	-110	82
3	LDPE	330	-115	260
4	PA	260	50	100
5	PET	250	70	100
6	ABS	-	110	85
7	PS	-	90	70
8	PMMA	-	100	85
9	PC	-	150	246
10	PVC	-	90	71

### 3. Pirolisis

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230°C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan *volatil matters* pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya, Produk cair yang menguap mengandung tar dan polyaromatic hidrokarbon (Ramadhan dan Ali : 45).

Menurut kondisi operasinya, pirolisis dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis kategori yaitu slow, fast, dan flash pirolisis (Jahirul dkk, 2012: 4956).

Tabel 2.3. Parameter operasi proses pirolisis  
(Sumber: Jahirul dkk, 2012: 4956)

Proses pirolisis	Waktu tinggal (s)	Ukuran partikel (mm)	Suhu (K)
Slow	450-500	5-50	550-950
Fast	0,5-10	<1	850-1250
Flash	<0,5	<0,2	1050-1300

Faktor-faktor yang mempengaruhi produk dalam proses pirolisis (Elykurniawati, 2009: 15) adalah:

#### a. Waktu

Waktu berpengaruh pada minyak yang akan dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung, minyak yang dihasilkannya makin naik.

#### **b. Suhu**

Suhu sangat mempengaruhi minyak yang dihasilkan, karena semakin tinggi suhu maka semakin banyak minyak yang dihasilkan.

#### **c. Berat Partikel**

Semakin banyak bahan yang dimasukkan menyebabkan hasil bahan bakar cair (tar) dan arang meningkat.

#### **d. Ukuran Partikel**

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil. Makin besar ukuran partikel luas permukaan persatuan berat makin kecil sehingga proses karbonisasi berlangsung lambat.

### **4. Kondensasi**

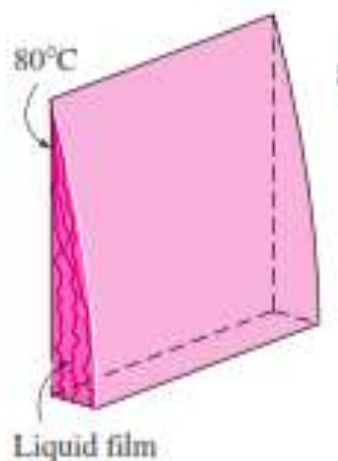
#### **a. Pengertian Kondensasi**

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. Dari metode tersebut yang lebih murah dan mudah adalah dengan menurunkan temperatur yang biasanya menggunakan media air atau udara sebagai media pendinginannya.

Kondensasi terjadi ketika uap menyentuh permukaan yang temperaturnya di bawah temperatur jenuh dari uap tersebut. Ketika kondensat cairan terbentuk pada permukaan, kondensat ini akan mengalir karena pengaruh gravitasi (Welty dkk, 2004: 152). Jenis fenomena kondensasi dibagi menjadi dua yaitu: kondensasi film (*film wise condensation*) dan kondensasi secara tetes (*dropwise condensation*).

#### **b. Kondensasi Film ( *Film Wise Condensation* )**

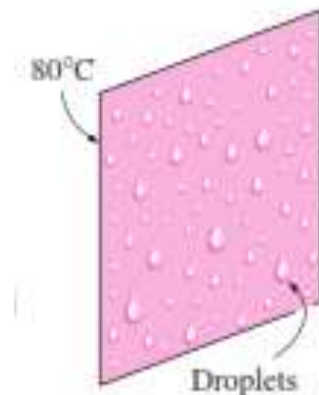
Kondensasi film terjadi ketika cairan membasahi permukaan, menyebar dan membentuk suatu film (Welty dkk, 2004: 152). Kondensasi jenis ini merupakan kondensasi yang umum terjadi pada kebanyakan sistem. Dalam kondensasi ini kondensat berbentuk butiran, membasahi permukaan dan jatuh bergabung membentuk lapisan cairan yang saling menyatu. Lapisan cairan yang terbentuk akan mengalir karena diakibatkan gravitasi, gesekan uap, dan lain-lain. Kondensasi film paling banyak terjadi pada aplikasi keteknikan. Aliran cairan kondensat akan memunculkan fenomena seperti aliran laminar, aliran gelombang (*wavy*), transisi laminar-turbulen, dan butiran yang jatuh pada permukaan lapisan cairan.



Gambar 2.3. Profil kondensasi film  
(Sumber: Cengel, 2003: 532)

**c. Kondensasi Secara Tetes (*Dropwise Condensation*)**

Kondensasi secara tetes (*dropwise condensation*) terjadi ketika tetesan tetesan bergerak menuruni permukaan, bergabung ketika mereka bersentuhan dengan kondensat lainnya (Welty dkk, 2004: 152). Dalam kondensasi jenis ini dibutuhkan laju transfer panas yang tinggi untuk mempertahankan terjadinya tetesan tetesan embun.



Gambar 2.4. Profil kondensasi tetes  
(Sumber: Cengel, 2003: 532)

Kedua jenis fenomena kondensasi tersebut mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan masing masing. Kondensasi secara tetes merupakan kondensasi yang sulit dilakukan atau dipertahankan secara komersial, karena dalam kondensasi ini laju transfer panas yang dibutuhkan

sangat tinggi. Dengan alasan itu maka semua peralatan didesain berdasarkan kondensasi secara film.

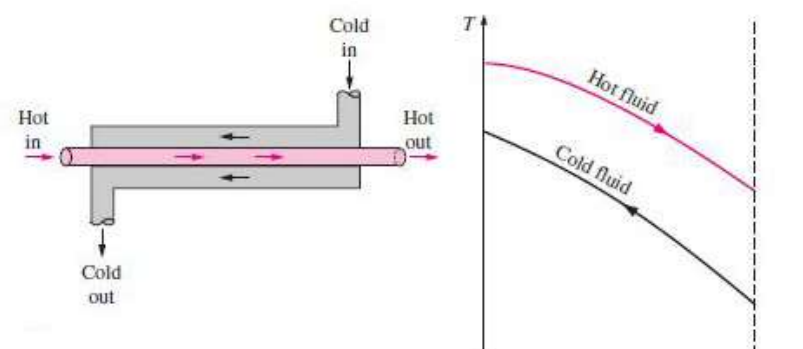
## 5. Kondensor

Kondensor merupakan salah satu dari penukar panas jenis rekuperator. Rekuperator adalah salah satu alat perpindahan panas yang bekerja dimana suatu fluida terpisah oleh fluida lain oleh suatu dinding atau sekat yang dilalui oleh panas (Kreith, 1991: 547). Menurut fungsinya kondensor sering digunakan untuk mengembunkan uap menjadi cairan. Kondensor yang bekerja dengan prinsip perpindahan panas akan memindahkan panas dari satu fluida ke fluida lainnya. Di dalam kondensor terjadi dua proses perpindahan panas yaitu perpindahan panas secara konduksi dan secara konveksi. Konduksi panas terjadi dari fluida panas yang memindahkan panasnya ke fluida dingin melalui perantara dinding kondensor. Konveksi panas terjadi dari perpindahan panas aliran yang dilakukan oleh aliran fluida kerja kondensor.

Klasifikasi kondensor (*Heat Exchanger*) berdasarkan arah aliran fluida kerja dibagi menjadi tiga tipe yaitu aliran paralel atau aliran searah (*cocurrent*), aliran melawan arus atau aliran berlawanan (*countercurrent*) dan aliran silang (*crossflow*) (Welty dkk, 2004: 163).

### a. Penukar Kalor Tipe Aliran Berlawanan (*Counter Flow*).

Penukar kalor tipe aliran berlawanan atau sering disebut *counter flow* yaitu





penukar kalor dengan fluida panas dan dingin memasuki penukar kalor melalui ujung yang berhadapan dan mengalir dengan arah berlawanan (Cengel, 2003: 668).

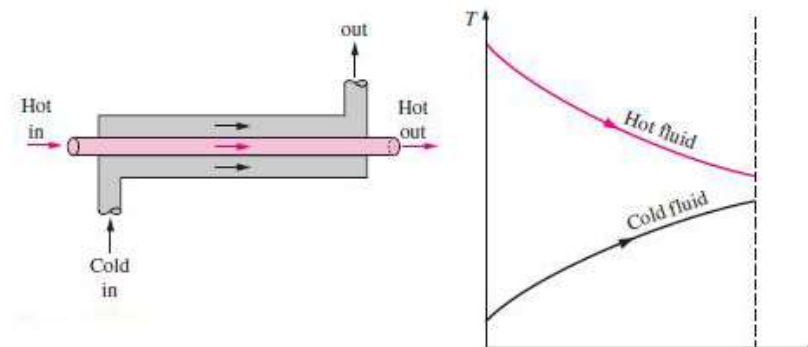
Gambar 2.5. *Counter Flow*  
(Sumber: Cengel, 2003: 668)

Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor adalah tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.

#### b. Penukar Kalor Tipe Aliran Sejajar (*Parallel Flow*).

Penukar kalor tipe aliran sejajar atau sering disebut dengan *parallel flow* yaitu penukar kalor dengan fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar pada arah yang sama (Cengel, 2003: 668).

Ga  
m  
ba  
r  
2.  
6.  
P



*parallel Flow*

(Sumber: Cengel, 2003: 668)

Pada jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar. Dengan demikian temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif.

**c. Penukar Kalor Dengan Aliran Silang (*Cross Flow*).**

Penukar kalor dengan aliran silang atau sering disebut *cross flow* yaitu penukar kalor dimana biasanya di dalamn penukar kalor tersebut terjadi perpindahan antara dua fluida yang saling tegak lurus satu sama lain (Cengel, 2003: 669). Contoh yang sering ditemui adalah pada radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh kalor dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.

**6. Aliran Fluida****a. Jenis Aliran Fluida**

Aliran fluida dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu laminar, transisi dan turbulen. Penentuan jenis aliran fluida didasarkan pada seberapa besar bilangan Reynolds yang dimiliki aliran fluida. Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dijadikan sebagai tolok ukur suatu aliran itu dinamakan laminar, transisi atau turbulen. Kondisi yang mempengaruhi besar kecilnya bilangan Reynolds pada suatu aliran antara lain kecepatan fluida, kerapatan (*density*), viskositas dan panjang karakteristik pipa aliran fluida Menurut Munson dkk (2005: 6). Untuk menentukan Bilangan Reynolds (Re) dapat dicari dengan rumus:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :  $V$  = kecepatan (rata-rata) fluida yang mengalir (m/det)

$D$  = diameter dalam pipa (m)

$\rho$  = masa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/m}\cdot\text{det}$ ) atau ( $\text{N}\cdot\text{det}/\text{m}^2$ )

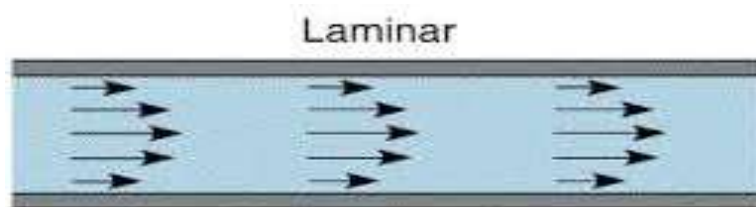
#### **b. Aliran Laminar**

Arti dari aliran laminar menurut Giancoli (2005: 568) aliran laminar adalah aliran yang tenang, membentuk lapisan yang saling berdekatan dengan fluida yang bergerak dalam lapisan yang saling berdekatan dan mengalir di dalam suatu garis edar dengan ketenangannya. Fluida mengikuti garis edar yang lancar dan garis edar itu tidak saling bersilangan satu sama lain.

Aliran laminar adalah aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara

lancer. Dalam aliran laminar ini, viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan.

Aliran dikatakan sebagai aliran laminar jika dalam aliran itu mempunyai nilai bilangan Reynold kurang dari 2100.

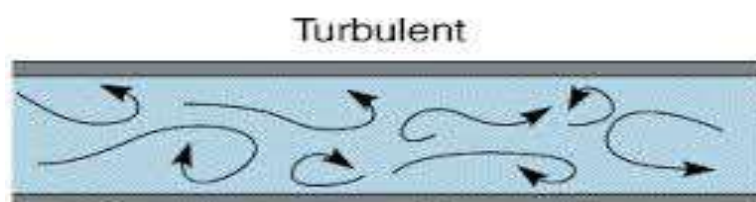


Gambar 2.7. Aliran laminar

### c. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran yang ditandai ketidaktentuan, ringan, pusaran air seperti pusaran arus (Giancoli, 2005: 568). Aliran turbulen terjadi ketika gerakan dari partikel-partikel fluida tidak menentu karena adanya percampuran serta putaran partikel antar lapisan yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran. Aliran dikatakann sebagai

aliran



turbulen ketika aliran itu mempunyai nilai Bilangan Reynold lebih dari 4000.

Gambar 2.8. Aliran Turbulan  
(Sumber: Giancoli, 2005: 268)

#### d. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran dikatakan sebagai aliran transisi ketika aliran itu mempunyai nilai bilangan Reynold antara 2100 – 4000. (Munson dkk, 2005: 25).

### 7. Debit Aliran Fluida

Debit aliran adalah nilai yang dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada suatu pipa eksperimen. Rumus perhitungan debit aliran adalah:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :  $Q$  = debit aliran (liter/menit)

$V$  = volume fluida (liter)

$t$  = waktu (menit)

### 8. Efektivitas Perpindahan Panas

Efektivitas perpindahan panas dapat dilihat dari seberapa besar perpindahan panas yang terjadi di dalam suatu penukar panas. Menurut

Holman (1988: 490) laju perpindahan panas dalam suatu pipa ganda dapat dihitung dengan rumus.

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :  $q$  = laju perpindahan panas ( W )  
 $U$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh  
(W/m<sup>2</sup>°C)  
 $A$  = Luas penampang perpindahan panas (m<sup>2</sup>)  
 $\Delta T_m$  = Beda suhu rata-rata dalam penukar kalor (°C)

Pada saat proses transfer panas, beda suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada waktu masuk dan pada waktu keluar tidaklah sama, maka kita perlu menentukan nilai rata-rata beda suhu untuk bisa menentukan besar kalor yang dipindahkan fluida pada alat penukar kalor (*heat exchanger*).

Pada aliran sejajar, dua fluida masuk bersama-sama dalam alat penukar kalor, bergerak dalam arah yang sama dan keluar bersama-sama pula. Sedangkan pada aliran berlawanan, dua fluida bergerak dengan arah yang berlawanan dan pada aliran menyilang, dua fluida saling menyilang/bergerak saling tegak lurus.

Menurut Holman (1988: 498) laju perpindahan panas dapat dihitung dari besar energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau besar energi yang diterima oleh fluida dingin, dan untuk masing masing jenis aliran dirumuskan sebagai berikut:

Untuk aliran searah,

$$q = m_h c_h ( T_{h1} - T_{h2} ) \dots\dots\dots ( 2.4)$$

$$q = m_c c_c ( T_{c2} - T_{c1} ) \dots\dots\dots ( 2.5)$$

Untuk aliran berlawanan arah,

$$q = m_h c_h ( T_{h1} - T_{h2} ) \dots\dots\dots ( 2.6)$$

$$q = m_c c_c ( T_{c1} - T_{c2} ) \dots\dots\dots ( 2.7)$$

## B. Kajian Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan kinerja kondensor dan proses pengolahan limbah sampah plastik menjadi minyak plastik adalah sebagai berikut :

Penelitian berkaitan dengan efisiensi kerja *shell and tube heat exchanger* telah dilakukan oleh Handoyo (2000: 86) dengan judul penelitian “Pengaruh kecepatan aliran terhadap efektivitas *Shell and Tube Heat Exchanger*” dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa :

Efektivitas *shell-and-tube heat exchanger* meningkat jika fluida, baik di sisi *shell* maupun di sisi *tube*, mengalir dengan kecepatan lebih tinggi hingga suatu harga maksimum dan kemudian akan menurun meskipun kecepatan fluida meningkat terus.

Penelitian tentang *Shell and tube Heat Exchanger* telah dilakukan oleh Handy (2011: 22 ) dengan judul penelitian “Rancang Bangun *Shell and Tube Heat Exchanger single Phase*”. Pada penelitian itu disimpulkan bahwa:

Faktor yang mempengaruhi kinerja *heat exchanger shell and tube* meliputi desain *heat exchanger*, laju alir massa fluida., nilai konduktifitas bahan *heat exchanger*, kerapatan isolasi dan suhu lingkungan sekitar.

Penelitian yang lain tentang proses pirolisis dengan beberapa jenis plastik dan pengembunan telah dilakukan oleh Surono (2013: 39). Dengan judul

penelitian “Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak”.

Plastik yang diteliti untuk dijadikan bahan bakar minyak adalah jenis polyethylene (PE) dan polypropylene (PP). Pembuatan bahan bakar minyak dari plastik menggunakan proses *thermo cracking* (pirolisis). Pirolisis dilakukan pada temperatur 450 °C selama 2 jam. Gas yang terbentuk selanjutnya dikondensasikan menjadi minyak di dalam kondenser yang bertemperatur 21 °C. Minyak yang dihasilkan selanjutnya dianalisa dengan *gas chromatography/mass spectrometry* untuk mengetahui distribusi jumlah atom karbonnya. Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa komposisi minyak dari campuran plastik PE dan PP tersebut mempunyai jumlah atom karbon yang setara dengan solar, yaitu C12 – C 17.

### C. Kerangka Pikir Penelitian

Kondensor berpendingin air merupakan kondensor yang banyak digunakan dalam suatu unit pendingin. Salah satu contoh penggunaan kondensor berpendingin air yaitu pada *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik yang dikembangkan Jurusan Teknik Mesin Unnes. Kondensor yang dipakai adalah kondensor tipe *double pipe water cooled condenser*. Proses pengolahan sampah plastik dengan prinsip pirolisis telah banyak dilakukan dan diteliti. Namun sampai saat ini belum pernah diteliti mengenai proses pengembunan dan penggunaan kondensor yang efisien untuk mendapatkan minyak plastik hasil pirolisis sampah plastik yang maksimal. Padahal dalam suatu proses kondensasi di dalam kondensor ada banyak faktor yang mempengaruhi kinerja kondensor. Salah satu faktor yang mempengaruhi dalam pengoperasian kondensor adalah arah aliran air pendingin. Untuk itu perlu diuji dan diteliti mengenai arah aliran air pendingin yang paling optimal untuk



mengkondensasikan uap plastik hasil pirolisis dengan kondensor tipe *double pipe water cooled condenser*.

Uji efektivitas kerja kondensor dilakukan dengan uji coba pada kondensor yang dioperasikan dengan arah aliran air pendingin yang berbeda. Nilai efektivitas kondensor diperoleh dengan membandingkan jumlah massa plastik yang diproses dengan massa minyak plastik yang dihasilkan dan dengan melihat besar laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor untuk setiap kali proses pengoperasian.

Hasil penelitian efektivitas kerja *double pipe water cooled condenser* dalam *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik akan memberikan informasi tentang standar proses kerja yang optimal untuk proses pengembunan uap plastik. Perhitungan efektivitas perpindahan panas yang terjadi dalam kondensor juga akan memberikan informasi tentang kualitas kondensor. Hasil data yang diperoleh dari penelitian pada kondensor tipe *double pipe water cooled condenser* dalam *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik ini dapat dijadikan acuan untuk pengembangan *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik kedepannya, khususnya pada komponen kondensor.

#### **D. Hipotesis Penelitian**

Hipotesis adalah jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian, adapun hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:.

1. Ada pengaruh variasi arah aliran air pendingin terhadap hasil minyak plastik yang diembunkan kondensor *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik.

2. Ada pengaruh variasi arah aliran air pendingin terhadap laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian adalah suatu rancangan penelitian yang memberikan arah bagi pelaksanaan penelitian sehingga data yang diperlukan dapat terkumpul. Penelitian merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memahami, memecahkan masalah secara ilmiah, sistematis dan logis. Dengan demikian akan didapat data yang objektif.

#### **A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan**

##### **1. Waktu Penelitian**

Penelitian akan dilakukan pada tanggal 14 - 18 September 2015.

##### **2. Tempat Pelaksanaan**

Adapun tempat pelaksanaan penelitian akan dilakukan di lab pengecoran logam gedung E5 lantai 1 Teknik Mesin UNNES.

#### **B. Desain Penelitian**

Pada penelitian ini, desain penelitian yang digunakan adalah desain eksperimen (*one shot case study*) karena dalam penelitian ini uap plastik hasil pirolisis sampah plastik akan diembunkan di dalam kondensor dengan variasi arah aliran air pendingin yang berbeda. Hasil yang diperoleh akan diobservasi dan akan dijadikan sebagai referensi dalam perhitungan efisiensi dan efektivitas kerja kondensor tipe *double pipe water-cooled condenser* pada *prototype* reaktor pirolisis sampah plastik.

Tabel 3.1 Desain Penelitian

Kelompok ( <i>group</i> )	Perlakuan ( <i>treatment</i> )	Observasi (hasil)
E	X	Y1 Y2

Keterangan:

E = Kelompok eksperimen sampah plastik.

X = Arah aliran air yang bervariasi.

Y1 = Jumlah minyak yang dihasilkan.

Y2 = Laju transfer panas yang terjadi di dalam kondensor.

### C. Alat dan Bahan Penelitian

#### 1. Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

##### a. *Thermometer*

*Thermometer* digunakan untuk mengukur suhu yang ada didalam *reaktor*.

*Thermometer* di pasang pada tabung reaktor.

##### b. *Thermocouple*

*Thermocouple* digunakan untuk mengukur suhu perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor. *Thermocouple* dipasang pada input dan output air pendingin kondensor.

##### c. Mesin Pencacah Plastik

Mesin pencacah plastik digunakan untuk mencacah sampah plastik menjadi ukuran dimensi 6 cm<sup>2</sup>.

##### d. Kompor

Kompor digunakan untuk memanaskan *reactor*.

**e. Toolset**

*Toolset* digunakan untuk mengencangkan baut saluran pemasukkan pada *reactor*.

**f. Gelas ukur**

Gelas ukur digunakan untuk menampung hasil minyak pirolisis sampah plastik.

**g. Manometer**

*Manometer* digunakan untuk mengukur tekanan yang ada pada *reactor*.

**h. Safety Valve**

*Safety valve* digunakan untuk pengaman tekanan agar tidak melebihi dari standar keamanan dan tidak meledak. Dengan menjaga tekanan 1 atm.

**i. Stopwatch**

*Stopwatch* digunakan untuk mengontrol waktu yang digunakan dalam proses pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif.

**j. Timbangan Digital**

Timbangan *digital* digunakan untuk mengukur massa sampah plastik dan mengetahui massa minyak pirolisis yang dihasilkan.

**2. Bahan Penelitian**

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. *PP (polypropylene)*.
- b. *High Density Polyethylene (HDPE)*.
- c. *Gas Liquefied Petroleum Gas (LPG)*.
- d. Air pendingin.

#### **D. Parameter Penelitian**

Adapun parameter dalam penelitian ini adalah:

##### **1. Variabel Independen**

Variasi arah aliran air pendingin kondensor, yaitu:

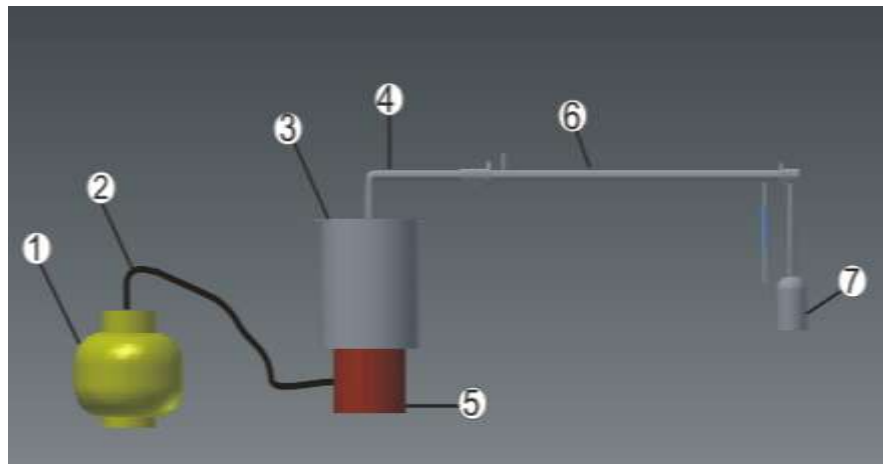
- a. Arah aliran air searah dengan laju uap (*parallel flow*).
- b. Arah aliran air berlawanan arah dengan laju uap (*counter flow*).

##### **2. Variabel Dependen**

- a. Efisiensi kondensor dalam mengembunkan minyak plastik hasil pirolisis.
- b. Efektivitas perpindahan panas kondensor dalam mengembunkan minyak plastik.

#### **E. Teknik Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melalui metode observasi efisiensi kerja kondensor dengan melihat hasil minyak pirolisis sampah plastik yang berhasil diembunkan dan melihat efektivitas proses perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor.

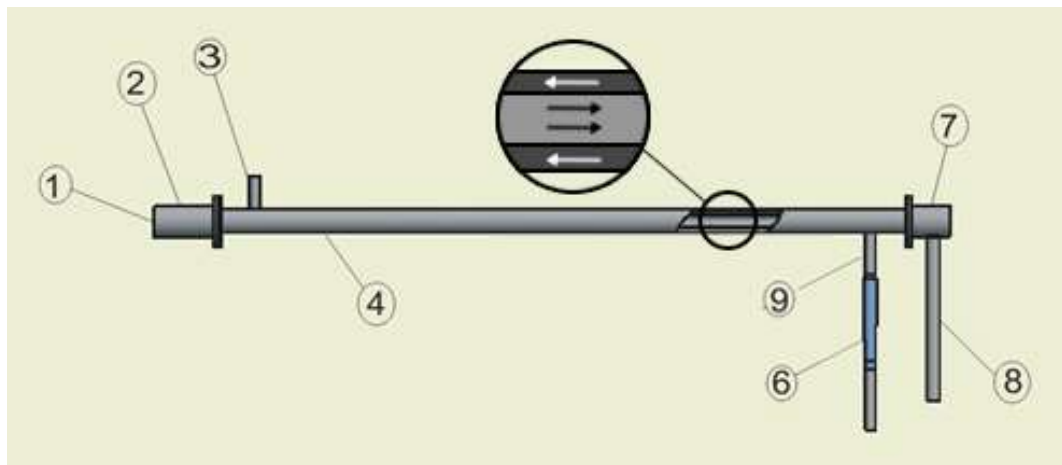


### 1. Skema Peralatan Penelitian

Gambar 3.1 Rangkaian Reaktor Pirolisis Sampah Plastik

Keterangan gambar:

- |                                 |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Tabung Gas                   | 6. Kondensor <i>Tipe Double pipe</i> |
| 2. Regulator, dan Selang gas    | 7. Penampung                         |
| 3. Reaktor                      |                                      |
| 4. Kran Valve + Pipa penghantar |                                      |
| 5. Selang gas dan regulator     |                                      |



Gambar 3.2 Rangkaian detail kondensor *double pipe water cooled condenser*.

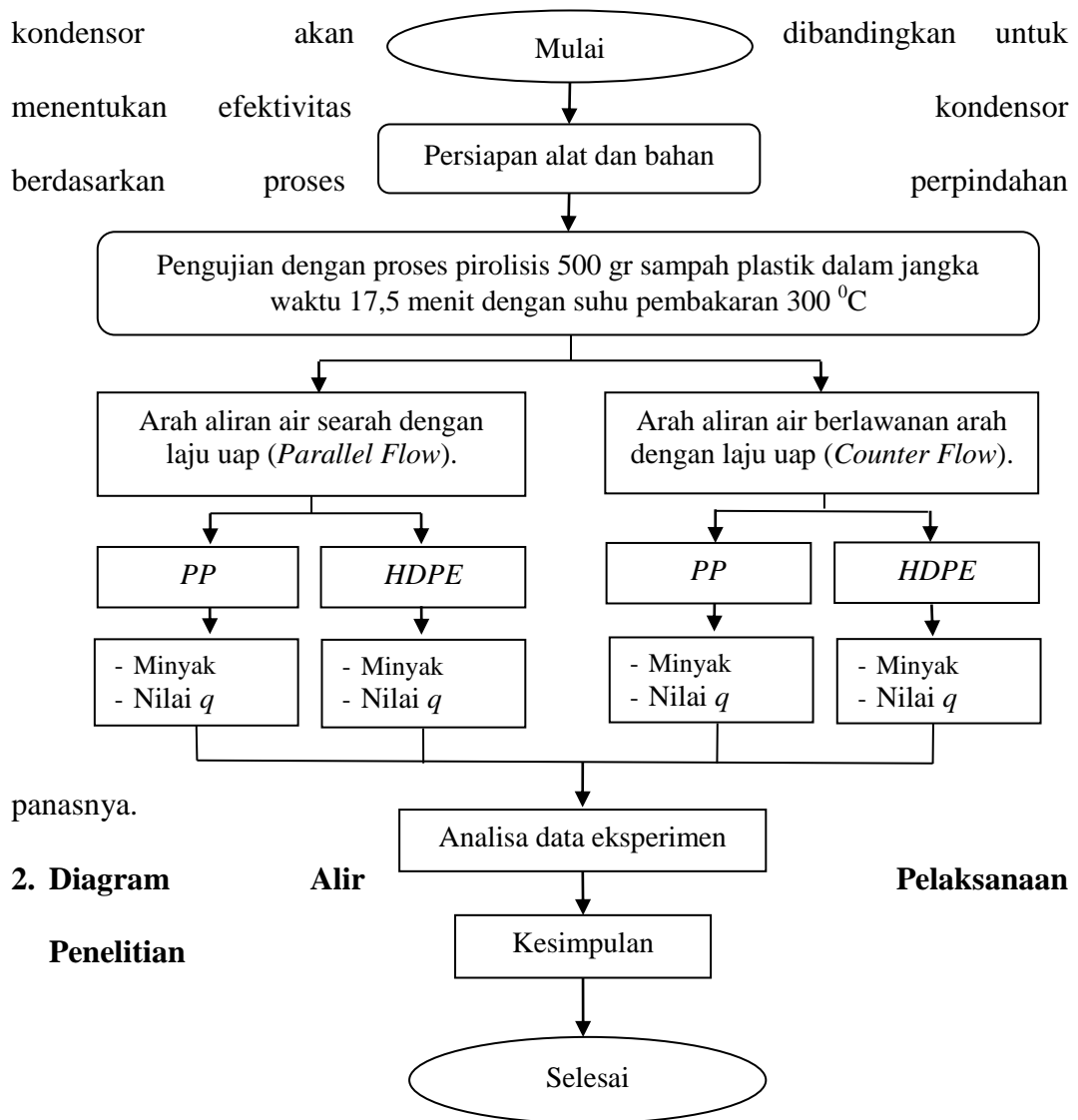
- |                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1. <i>Head</i> kondensor    | 6. <i>Flowmeter</i>           |
| 2. Lubang uap masuk         | 7. <i>Rear</i> Kondensor      |
| 3. Pipa penyalur air keluar | 8. Pipa keluar minyak plastik |
| 4. Pipa luar kondensor      | 9. Pipa penyalur air masuk    |
| 5. Pipa dalam kondensor     |                               |

Keterangan gambar:

Gambar di atas merupakan rangkaian *prototype* reaktor pyrolysis sampah plastik dan gambaran detail kondensor yang menjadi skema peralatan penelitian ini. Proses penelitian dimulai dari proses pirolisis yang terjadi di dalam tabung reaktor. Tabung reaktor diberi sampah plastik berupa *High Density Polyethylene (HDPE)* dan *PP (polypropylene)*. Sampah plastik dengan massa 500g kemudian dipanaskan di dalam tabung reaktor dengan suhu 300 °C dalam jangka waktu 17,5 menit dan dijaga pada tekanan 1 atm dengan menggunakan *safety valve*. Setelah pemanasan selesai selanjutnya uap plastik akan diembunkan di dalam kondensor



dengan berbagai variasi arah aliran air pendingin yaitu: arah aliran air searah dengan aliran uap (*parallel flow*) dan arah aliran air berlawanan arah dengan aliran uap (*counter flow*). Kemudian minyak plastik hasil pengembunan kondensor akan ditampung dan dibandingkan. Perbandingan hasil minyak plastik dengan massa sampah plastik sebelum diperlakukan proses pemanasan akan memberikan nilai efisiensi kondensor berdasarkan hasil pengembunan. Proses perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor akan diamati pada setiap kali proses pengembunan. Nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor akan dibandingkan untuk



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

### **3. Proses Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan membuat tetap kondisi kerja reaktor, temperatur pemanasan sampah plastik dibuat tetap 300 °C dengan lama waktu pemanasan 17,5 menit. Selanjutnya dalam proses kondensasi, arah aliran air pendingin kondensor dibuat bervariasi, yaitu: arah aliran air berlawanan arah dengan aliran uap (*counter flow*) dan arah aliran air searah dengan aliran uap (*parallel flow*). Bahan sampah plastik yang digunakan yaitu plastik jenis *PP*

(*polypropylene*) dan *High Density Polyethylene (HDPE)*. Penelitian ini difokuskan pada uji efisiensi dan efektivitas kondensor dalam mengembunkan uap plastik hasil pirolisis.

Pada proses penelitian ini sebelumnya peneliti melakukan perancangan kondensor terlebih dahulu. Perancangan kondensor ini menganut beberapa aturan perancangan dari TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*). Kondensor dalam *prototype* ini dibuat dengan dimensi panjang kondensor 1000 mm dan diameter 25,4 mm. kondensor dibuat dengan *doubele pipe* menggunakan pipa luar dengan diameter 28,5 mm dan pipa dalam dengan diameter 16 mm. Material pembuatan kondensor ini dibuat dengan material pipa luar yaitu *Stainless Steel* dan pipa dalam dengan bahan Tembaga. Alasan memilih material ini karena *stainless steel* memiliki nilai konduktivitas yang rendah yaitu: 15,1 watt/m.K digunakan sebagai pipa bagian luar karena untuk menghindari pengaruh suhu panas dari lingkungan dan korosi, sedangkan Tembaga memiliki nilai konduktivitas yang tinggi yaitu: 401 watt/m.K digunakan sebagai pipa dalam karena untuk memberikan perpindahan panas yang maksimal .

Proses penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti melalui beberapa tahapan diantaranya adalah:

Proses penelitian dengan variasi arah aliran air berlawanan arah dengan laju uap (*counter flow*):

- a. Setting komponen kondensor ke tipe aliran fluida berlawanan arah atau *counter flow*

- b. Memasang seluruh perlengkapan alat pirolisis yang terdiri dari reaktor dan kelengkapannya, pipa penghantar, kran pengatur tekanan, kondensor dan kelengkapannya, penampung minyak plastik, *thermocouple* dan saluran air pendingin beserta kelengkapannya.
- c. Memasukkan sampah plastik *PP (polypropylene)* ke reaktor pirolisis.
- d. Memanaskan reaktor pirolisis dengan menggunakan gas *LPG* dengan tekanan 1 atm hingga suhu mencapai 300 °C selama 17,5 menit.
- e. Menghidupkan aliran air pendingin..
- f. Amati, catat dan periksa suhu masuk air pendingin.
- g. Amati, catat dan periksa suhu keluar air pendingin.
- h. Setelah proses selesai ambil minyak plastik yang berhasil diembunkan.
- i. Mematikan aliran air, pemanas *LPG*, bersihkan reaktor pirolisis dan persiapkan untuk proses selanjutnya.
- j. Ulangi langkah (a) – (i) dengan jenis plastik *HDPE (High Density Polyethylene)*
- k. Setelah semua sampel minyak pirolisis berhasil didapatkan maka akan dilakukan perhitungan perbandingan minyak plastik yang dihasilkan dengan bahan sampah plastik yang digunakan dan akan dilakukan perhitungan besar perpindahan panas yang terjadi untuk melihat efektivitas kondensor berdasarkan proses perpindahan panasnya.

Proses penelitian dengan variasi arah aliran air searah dengan aliran uap (*parallel flow*) dilakukan dengan cara yang sama dengan proses arah aliran berlawanan.

#### 4. Data Penelitian

##### a. Hasil Minyak yang Diperoleh

Hasil minyak yang diperoleh dalam hal penelitian pada kondensor ini adalah pengukuran volume minyak plastik yang dihasilkan, selanjutnya hasil data dimasukkan dalam lembar pengambilan data hasil minyak sampah plastik berupa jumlah volume yang dihasilkan.

Tabel 3.2 Lembar pengambilan data hasil minyak plastik berupa jumlah volum yang dihasilkan.

Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Kapasitas Minyak Plastik (ml)	
		<i>PP</i>	<i>HDPE</i>
<i>Counter flow</i>	2		
	2,5		
	3		
	3,5		
	4		
<i>Parallel flow</i>	2		
	2,5		
	3		
	3,5		
	4		

##### b. Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas dapat dilihat dari seberapa besar perpindahan panas yang terjadi di dalam suatu penukar panas. Data laju perpindahan panas pada kondensor dapat diperoleh dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

- 1) Laju perpindahan panas *counter flow*

$$q = m_c c_c ( T_{c1} - T_{c2} )$$

- 2) Laju perpindahan panas *parallel flow*

$$q = m_c c_c ( T_{c2} - T_{c1} )$$

Dimana :  $m_c$  = Laju masa fluida ( kg / s ) untuk debit 4 liter / menit  
= 0,0666 kg/s

$c_c$  = Kalor jenis air ( 4180 kg/ J <sup>0</sup>C)

$T_{c1}$  = Suhu keluar fluida pendingin

$T_{c2}$  = Suhu masuk fluida pendingin

Setelah memperoleh data dari perhitungan rumus di atas, selanjutnya hasil data tersebut dimasukkan dalam lembar pengambilan data laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor.

Tabel 3.3 Lembar pengambilan data penelitian laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor.

Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Nilai Laju perpindahan panas (Watt)					
		<i>PP</i>			<i>HDPE</i>		
		$T_{c1}$	$T_{c2}$	$q$	$T_{c1}$	$T_{c2}$	$q$
<i>Counter flow</i>	2						
	2,5						
	3						
	3,5						
	4						
<i>Parallel flow</i>	2						
	2,5						
	3						
	3,5						
	4						

## F. Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif yaitu dengan mengamati secara langsung hasil eksperimen kemudian menyimpulkan dan menentukan hasil penelitian yang telah dilakukan. Data-data yang dihasilkan yaitu meliputi besarnya massa minyak plastik, volume minyak plastik, massa jenis minyak plastik dan besar laju perpindahan panas pada kondensor.

Data yang diperoleh dari hasil penelitian kemudian dimasukkan ke dalam tabel dan ditampilkan ke dalam bentuk grafik yang kemudian akan dianalisa dan

ditarik kesimpulan. Tabel dan grafik akan menampilkan informasi variasi arah aliran air pendingin yang paling optimal untuk proses pengkondensasian uap plastik.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

Berikut adalah data hasil penelitian pengaruh variasi arah aliran air pendingin terhadap hasil kondensasi dan nilai laju perpindahan panas yang terjadi pada kondensor prototipe reaktor pirolisis sampah plastik. Variasi arah aliran air pendingin dalam penelitian ini yaitu: arah aliran air searah dengan laju uap (*parallel flow*) dan arah aliran air berlawanan arah dengan laju uap (*counter flow*) dengan variasi jenis plastik *PP* (*Polypropylene*) dari plastik air mineral kemasan gelas dan *HDPE* (*High Density Polyethylene*) dari botol oli.

#### 1. Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin terhadap Hasil Minyak

Hasil minyak yang diperoleh dalam hal penelitian pada kondensor ini adalah pengukuran volume minyak plastik yang dihasilkan, selanjutnya hasil data dimasukkan dalam lembar pengambilan data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap jumlah minyak plastik yang didapatkan pada jenis plastik *PP* dan *HDPE* jenis aliran *Counter Flow*.

Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Kapasitas Minyak Plastik (ml)	
		<i>PP</i>	<i>HDPE</i>
<i>Counter flow</i>	2	300	325
	2,5	315	350
	3	330	370
	3,5	344	400
	4	360	390

Tabel 4.1 di atas menunjukkan bahwa hasil volume minyak terbesar untuk jenis aliran *counter flow* didapatkan pada debit 3,5 liter/menit dari jenis plastik



*HDPE* dengan hasil minyak 400 ml dan hasil volume terendah didapatkan pada debit 2 liter/menit dari jenis plastik *PP* dengan hasil minyak 300 ml.

Tabel 4.2 Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap jumlah minyak plastik yang didapatkan pada jenis plastik *PP* dan *HDPE* jenis aliran *Parallel Flow*.

Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Kapasitas Minyak Plastik (ml)	
		<i>PP</i>	<i>HDPE</i>
<i>Parallel flow</i>	2	260	298
	2,5	272	314
	3	286	330
	3,5	300	358
	4	314	363

Tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa hasil volume minyak terbesar didapatkan pada debit 4 liter/menit dari jenis plastik *HDPE* dengan hasil minyak 363 ml dan hasil volume terendah didapatkan pada debit 2 liter/menit dari jenis plastik *PP* dengan hasil minyak 260 ml.

## 2. Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin terhadap Laju Perpindahan Panas

Nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor akan dihitung berdasarkan hasil pengamatan dalam penelitian ini 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.

Tabel 4.3 Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas proses kondensasi uap plastik jenis *PP* dan *HDPE* jenis aliran *Counter Flow*.

Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Nilai Laju perpindahan panas (Watt)					
		<i>PP</i>			<i>HDPE</i>		
		$T_{c1}$	$T_{c2}$	$q$	$T_{c1}$	$T_{c2}$	$q$
<i>Counter flow</i>	2	29,5	26	487	29,1	26	473
	2,5	29,8	26	661	29,5	26	608
	3	30,5	26	940	30,1	26	857
	3,5	31,7	26	1.389	30,8	26	1.218
	4	31,9	26	1.642	30,3	26	1.197

Tabel 4.3 di atas menunjukkan bahwa nilai laju perpindahan panas tertinggi untuk jenis aliran *counter flow* terjadi pada debit 4 liter/menit dari bahan uji plastik *PP* dengan nilai laju perpindahan panas sebesar 1.642 Watt dan nilai laju perpindahan panas terendah terjadi pada debit 2 liter/menit dari bahan uji plastik *HDPE* dengan nilai laju perpindahan panas sebesar 473 Watt.

Tabel 4.4 Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas proses kondensasi uap plastik jenis *PP* dan *HDPE* jenis aliran *Parallel Flow*.

Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Nilai Laju perpindahan panas (Watt)					
		PP			HDPE		
		Tc1	Tc2	q	Tc1	Tc2	q
Parallel flow	2	27,7	26	236	26,9	26	125
	2,5	28,0	26	347	27,2	26	208
	3	28,2	26	459	28,0	26	418
	3,5	28,5	26	609	28,4	26	504
	4	29,1	26	863	28,6	26	723

Tabel 4.4 di atas menunjukkan bahwa nilai laju perpindahan panas tertinggi untuk jenis aliran *parallel flow* terjadi pada debit 4 liter/menit dari bahan uji plastik *PP* dengan nilai laju perpindahan panas sebesar 863 Watt dan nilai laju perpindahan panas terendah terjadi pada debit 2 liter/menit dari bahan uji plastik *HDPE* dengan nilai laju perpindahan panas sebesar 125 Watt.

Jika nilai laju perpindahan panas untuk variasi arah aliran *counter flow* dan *parallel flow* dikorelasikan dengan hasil minyak plastik yang diperoleh, maka akan didapat data sebagai berikut :

**a. Korelasi Nilai Laju Perpindahan Panas dengan Hasil Minyak Plastik *PP* untuk Arah Aliran *Counter Flow***

Tabel 4.5 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik *PP* untuk arah aliran *counter flow*

Nilai Laju perpindahan panas (Watt)	Kapasitas Minyak Plastik yang dihasilkan (ml)
487	300

661	315
940	330
1.389	344
1.642	360

**b. Korelasi Nilai Laju Perpindahan Panas dengan Hasil Minyak Plastik HDPE untuk Arah Aliran Counter Flow**

Tabel 4.6 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik *HDPE* untuk arah aliran *counter flow*

Nilai Laju perpindahan panas (Watt)	Kapasitas Minyak Plastik yang dihasilkan (ml)
473	325
608	350
857	370
1.218	400
1.197	390

**c. Korelasi Nilai Laju Perpindahan Panas dengan Hasil Minyak Plastik PP untuk Arah Aliran Parallel Flow**

Tabel 4.7 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik *PP* untuk arah aliran *Parallel flow*

Nilai Laju perpindahan panas (Watt)	Kapasitas Minyak Plastik yang dihasilkan (ml)
236	260
347	272
459	286
609	300
863	314

**d. Korelasi Nilai Laju Perpindahan Panas dengan Hasil Minyak Plastik HDPE untuk Arah Aliran Parallel Flow**

Tabel 4.8 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik pada jenis plastik *HDPE* untuk arah aliran *Parallel flow*

Nilai Laju perpindahan panas (Watt)	Kapasitas Minyak Plastik yang dihasilkan (ml)
125	298
208	314
418	330
504	358
723	363

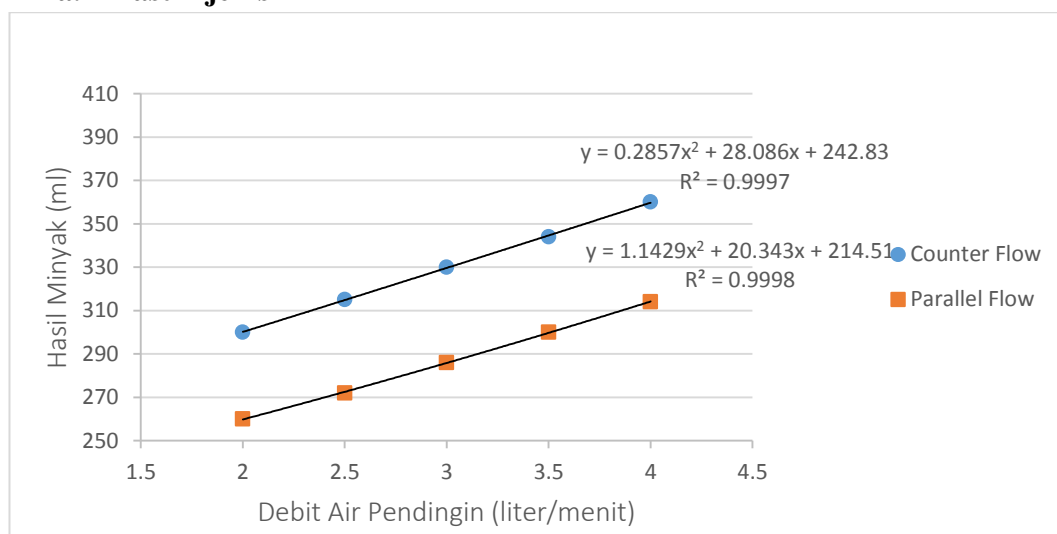
## B. Pembahasan

Analisa pengaruh arah aliran air pendingin terhadap hasil kondensasi dan nilai laju perpindahan panas yang terjadi pada kondensor prototipe reaktor pirolisis sampah plastik adalah sebagai berikut:

### 1. Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Terhadap Hasil minyak

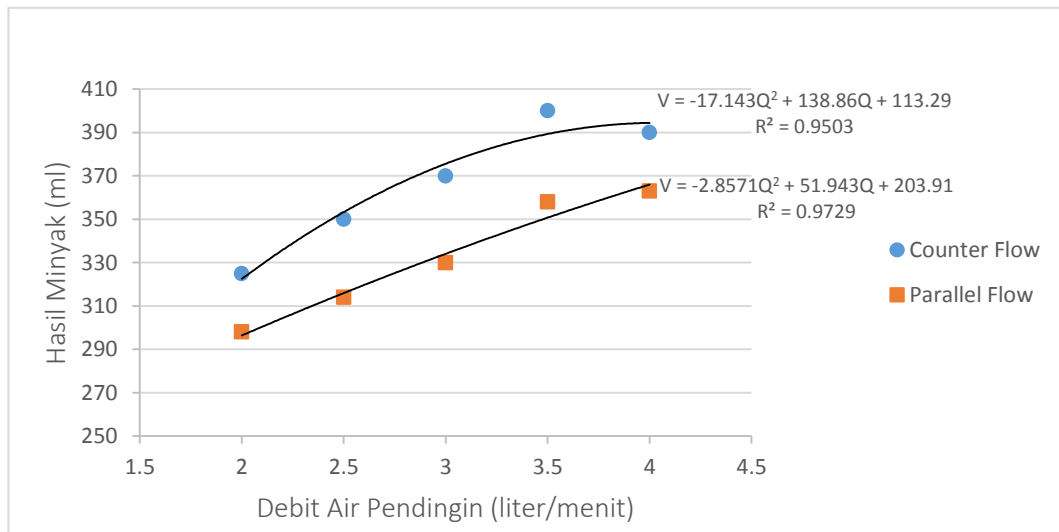
Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara variasi arah aliran *counter flow* dan *parallel flow* terhadap jumlah volume minyak plastik yang didapatkan. Hasil penelitian hubungan antara variasi arah aliran air pendingin dengan jumlah minyak plastik yang didapatkan kondensor prototipe reaktor pirolisis sampah plastik akan dijelaskan dalam grafik berikut.

#### a. Plastik jenis PP



Gambar 4.1 Jumlah minyak plastik yang diperoleh dengan variasi arah aliran air pendingin untuk plastik jenis PP.

### b. Plastik jenis *HDPE*



Gambar 4.2 Jumlah minyak plastik yang diperoleh dengan variasi arah aliran air pendingin untuk plastik jenis *HDPE*.

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa pengaruh arah aliran air pendingin terhadap jumlah minyak plastik yang didapatkan menghasilkan grafik fungsi kuadrat sebagai berikut:

**1) Untuk Plastik Jenis *PP* Aliran *Counter Flow***

$$V = 0.2857Q^2 + 28.086Q + 242.8$$

Keterangan: V = Volume (ml)

Q = Debit (liter/menit)

**2) Untuk Plastik Jenis *HDPE* Aliran *Counter Flow***

$$V = -17.143Q^2 + 138.86Q + 113.29$$

**3) Untuk Plastik Jenis *PP* Aliran *Parallel Flow***

$$V = 1.1429Q^2 + 20.343Q + 214.51$$

**4) Untuk Plastik Jenis *HDPE* Aliran *Parallel Flow***

$$V = -2.8571Q^2 + 51.943Q + 203.91$$

Persamaan fungsi kuadrat untuk masing masing jenis plastik dan arah aliran air pendingin di atas dapat menunjukkan jumlah minyak plastik yang diperoleh dengan kita memasukkan nilai debit dengan rentang debit 2 - 4 liter/menit ke dalam persamaan tersebut. Untuk mengetahui seberapa kuat pengaruh arah aliran air pendingin terhadap hasil minyak yang diperoleh maka kita dapat menginterpretasikan nilai *R Square* dari grafik dengan tabel interpretasi nilai R berikut.

Tabel 4.9 Interpretasi Nilai R  
Sumber: Hartono, 2012: 87

Besarnya nilai R	Interpretasi
0,000 - 0,200	Korelasi anantara variabel X dengan variabel Y sangat lemah/rendah sehingga dianggap tidak ada korelasi
0,200 - 0,400	Korelasinya lemah atau rendah
0,400 - 0,700	Korelasinya rendah atau cukup
0,700 - 0,900	Korelasinya kuat atau tinggi
0,900 - 1,000	Korelasinya sangat kuat atau sangat Tinggi

Nilai *R Square* yang didapatkan dari grafik pada gambar 4.1 dan Gambar 4.2 untuk masing masing jenis plastik dan arah aliran air pendingin adalah jenis plastik *PP* untuk *counter flow*  $R^2 = 0.9997$ , untuk *parallel flow*  $R^2 = 0.9991$ , dan jenis plastik *HDPE* untuk *counter flow*  $R^2 = 0.9503$ , untuk *parallel flow*  $R^2 = 0.9729$  yang dari keseluruhannya berada pada rentang nilai *R Square* antara 0,900 sampai 1,000. Maka dapat disimpulkan pengaruh hubungan antara arah aliran air pendingin *counter flow* dan *parallel flow* terhadap jumlah minyak plastik yang diperoleh adalah sangat kuat.

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 di atas juga menunjukkan bahwa ada perbedaan hasil untuk masing-masing jenis plastik yang dikondensasikan dengan variasi arah aliran air pendingin. Untuk jenis aliran *counter flow* hasil maksimal

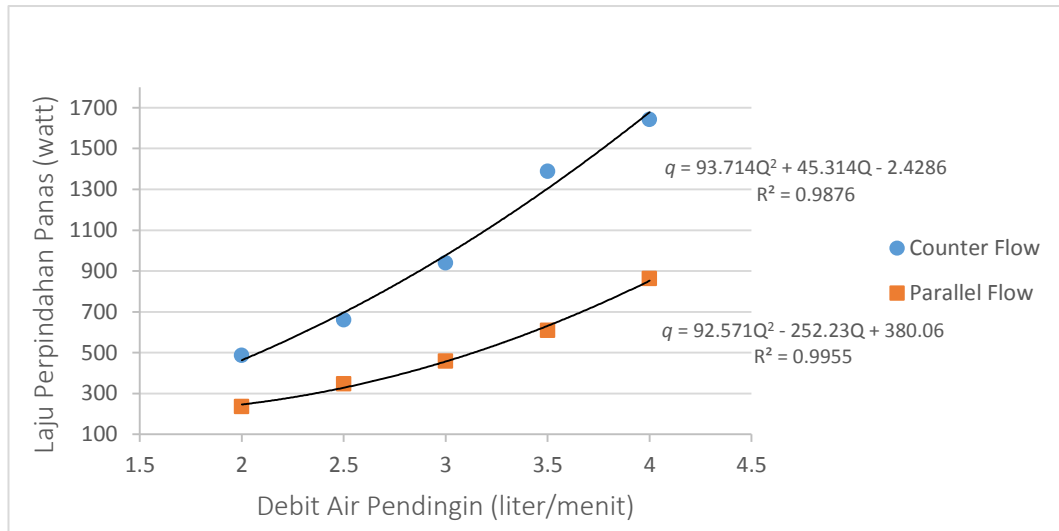
didapatkan dengan debit air pendingin 3,5 liter/menit pada jenis plastik *HDPE* dengan jumlah minyak 400 ml dan hasil minimal didapatkan dengan debit air pendingin 2 liter/menit pada jenis plastik *PP* dengan jumlah minyak 300 ml. Untuk jenis aliran *parallel flow*, hasil maksimal didapatkan dengan debit 4 liter/menit pada jenis plastik *HDPE* dengan jumlah minyak 363 ml dan hasil minimal didapatkan dengan debit 2 liter/menit pada jenis plastik *PP* dengan jumlah minyak 260 ml.

Perbedaan hasil minyak yang didapatkan untuk masing-masing jenis plastik *HDPE* dan *PP* dikarenakan dari kedua jenis plastik yang digunakan sudah memiliki karakteristik yang berbeda. Kedua jenis plastik memiliki temperature leleh yang berbeda yaitu untuk jenis plastik *HDPE* dan *PP* masing masing memiliki temperatur leleh sebesar  $134^{\circ}\text{C}$  dan  $165^{\circ}\text{C}$ . Sehingga bisa disimpulkan untuk kedua jenis plastik *HDPE* dan *PP* juga memiliki titik embun untuk mencair yang berbeda pula dan dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini, titik embun yang lebih rendah dimiliki oleh jenis plastik *HDPE* dibandingkan dengan jenis plastik *PP*.

## **2. Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin terhadap Laju Perpindahan Panas.**

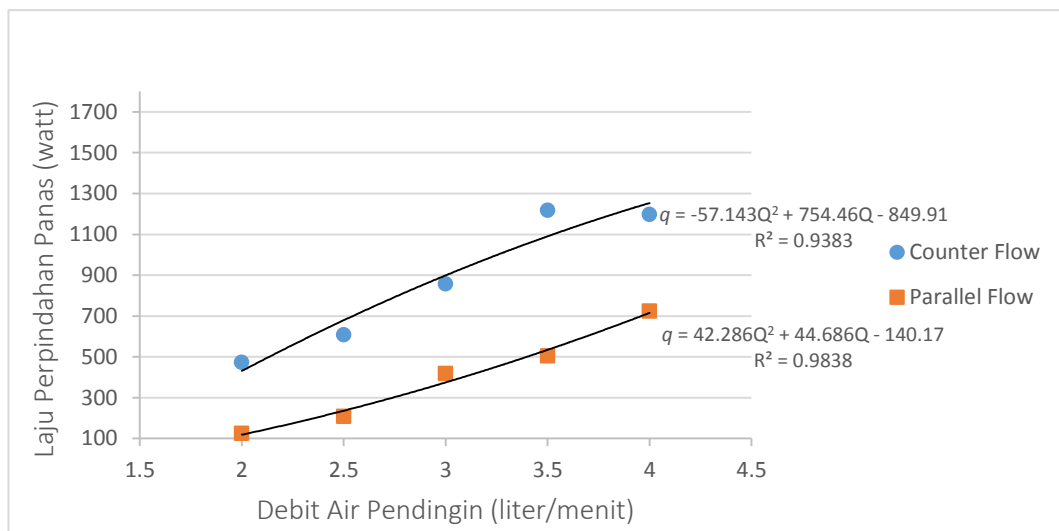
Pengaruh variasi arah aliran *counter flow* dan *parallel flow* terhadap nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor. Hasil penelitian yang didapatkan akan dijelaskan dalam grafik berikut:

**a. Plastik jenis PP**



Gambar 4.3 Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas untuk proses kondensasi uap plastik jenis *PP*.

**b. Plastik jenis HDPE**



Gambar 4.4 Pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas untuk proses kondensasi uap plastik jenis *HDPE*.

Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 di atas menunjukkan hasil penelitian hubungan arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas yang



terjadi pada kondensor prototipe reaktor pirolisis sampah plastik yang menghasilkan grafik fungsi kuadrat sebagai berikut:

**1) Untuk Plastik Jenis *PP* Aliran *Counter Flow***

$$q = 93.714Q^2 + 45.314Q - 2.4286$$

Keterangan:  $q$  : Laju Perpindahan Panas (Watt)

$Q$  : Debit (liter/menit)

**2) Untuk Plastik Jenis *HDPE* Aliran *Counter Flow***

$$q = -57.143Q^2 + 754.46Q - 849.91$$

**3) Untuk Plastik Jenis *PP* Aliran *Parallel Flow***

$$q = 92.571Q^2 - 252.23Q + 380.06$$

**4) Untuk Plastik Jenis *HDPE* Aliran *Parallel Flow***

$$q = 42.286Q^2 + 44.686Q - 140.17$$

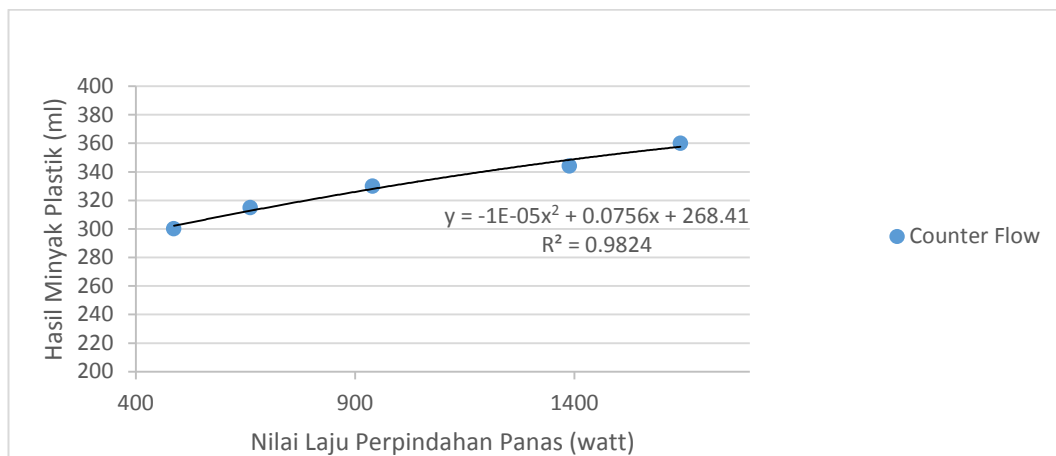
Persamaan fungsi kuadrat di atas hanya berlaku untuk rentang debit 2 - 4 liter/menit terhadap nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor. Dengan mensubstitusikan nilai debit kedalam persamaan maka akan diketahui nilai laju perpindahan panasnya.

Gambar 4.3 dan 4.4 di atas juga menunjukkan korelasi nilai *R Square* dari masing-masing jenis plastik yang dikondensasikan yaitu plastik jenis *PP* untuk *counter flow*  $R^2 = 0.9876$ , untuk *parallel flow*  $R^2 = 0.9955$ , dan jenis plastik *HDPE* untuk *counter flow*  $R^2 = 0.9383$ , untuk *parallel flow*  $R^2 = 0.9838$ .

Hasil penelitian nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor jika dikorelasikan dengan hasil minyak plastik yang diperoleh akan didapatkan hubungan korelasi sebagai berikut:

**a. Korelasi Nilai Laju perpindahan Panas Dengan Hasil Minyak Untuk Jenis Arah Aliran *Counter Flow* Plastik *PP*.**

Data hasil penelitian nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang diperoleh akan dijelaskan dalam grafik berikut:



Gambar 4.5 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *PP* untuk jenis aliran air pendingin *counter flow*

Gambar 4.5 di atas menunjukkan hasil grafik persamaan fungsi kuadrat untuk nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *PP* untuk jenis aliran air pendingin *counter flow* dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = -1E-05q^2 + 0.0756q + 268.41$$

Keterangan :  $V$  = Volume (ml)

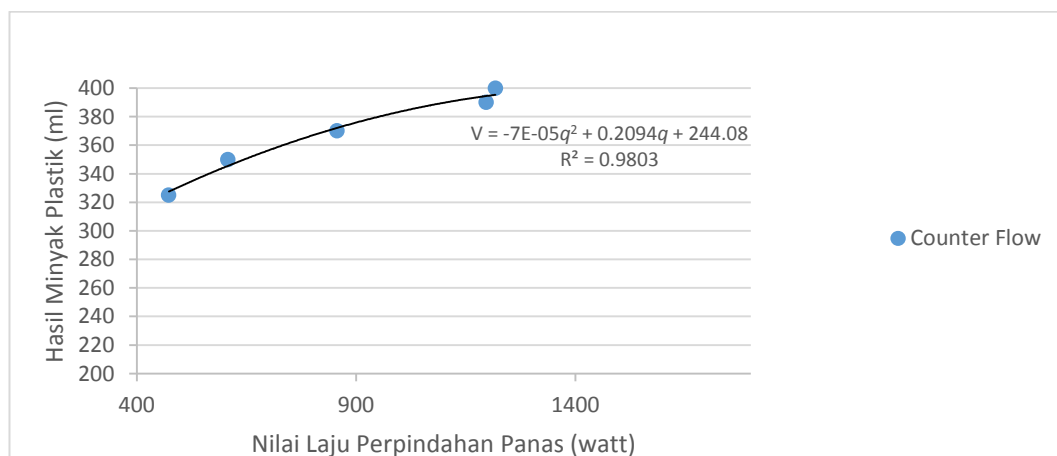
$q$  = Nilai laju perpindahan panas (Watt)

Persamaan fungsi kuadrat diatas hanya berlaku untuk rentang nilai laju perpindahan panas antara 487 – 1.642 Watt. Dengan persamaan kuadrat di atas dapat diketahui jumlah volume minyak yang didapatkan yaitu dengan cara mensubtitusikan nilai laju perpindahan panas kedalam persamaan fungsi kuadratnya. Hasil penelitian menunjukkan untuk jenis plastik *PP* volume minyak maksimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 1.642 Watt dengan hasil minyak sejumlah 360 ml dan volume minyak minimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 487 Watt dengan hasil minyak sejumlah 300 ml.

Gambar 4.5 di atas juga menunjukkan korelasi nilai *R Square* hubungan nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang didapatkan. Nilai *R Square* dari grafik adalah  $R^2 = 0.9824$  yang jika kita interpretasikan dengan tabel interpretasi nilai *R* pada tabel 4.7 maka nilai *R Square* untuk hubungan ini berada di rentang 0,900 sampai 1,000 yang berarti hubungannya adalah sangat kuat.

**b. Korelasi Nilai Laju perpindahan Panas Dengan Hasil Minyak Untuk Jenis Arah Aliran *Counter Flow* Plastik *HDPE*.**

Data hasil penelitian nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang diperoleh akan dijelaskan dalam grafik berikut:



Gambar 4.6 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *HDPE* untuk jenis aliran air pendingin *counter flow*

Gambar 4.6 di atas menunjukkan hasil grafik persamaan fungsi kuadrat untuk nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *HDPE* untuk jenis aliran air pendingin *counter flow* dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = -7E-05q^2 + 0.2094q + 244.08$$

Keterangan :  $V$  = Volume (ml)

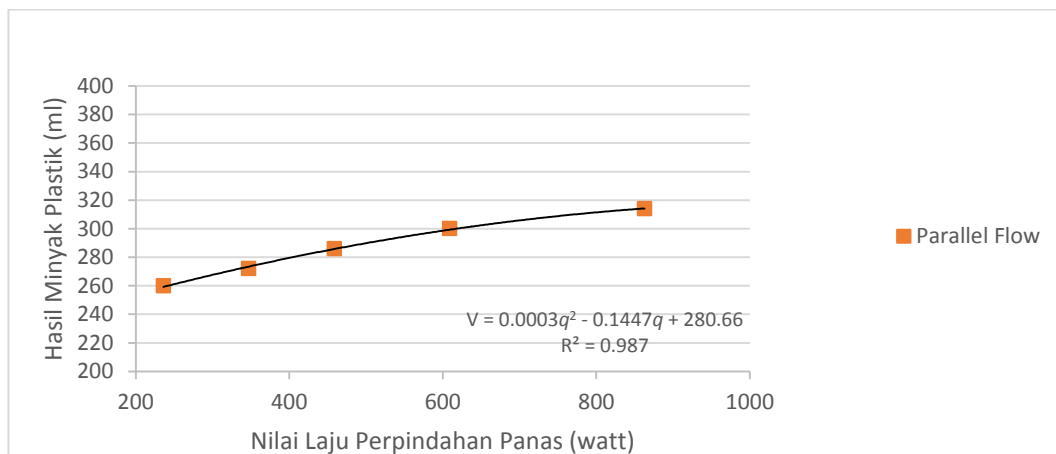
$q$  = Nilai laju perpindahan panas (Watt)

Persamaan fungsi kuadrat diatas hanya berlaku untuk rentang nilai laju perpindahan panas antara 473 – 1.218 Watt. Dengan persamaan kuadrat di atas dapat diketahui jumlah volume minyak yang didapatkan yaitu dengan cara mensubtitusikan nilai laju perpindahan panas kedalam persamaan fungsi kuadratnya. Hasil penelitian menunjukkan untuk jenis plastik *HDPE* volume minyak maksimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 1.218 Watt dengan hasil minyak sejumlah 400 ml dan volume minyak minimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 473 Watt dengan hasil minyak sejumlah 325 ml.

Gambar 4.6 di atas juga menunjukkan korelasi nilai *R Square* hubungan nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang didapatkan. Nilai *R Square* dari grafik adalah  $R^2 = 0.9803$  yang jika kita interpretasikan dengan tabel interpretasi nilai R pada tabel 4.7 maka nilai *R Square* untuk hubungan ini berada di rentang 0,900 sampai 1,000 yang berarti hubungannya adalah sangat kuat.

**c. Korelasi Nilai Laju perpindahan Panas Dengan Hasil Minyak Untuk Untuk Jenis Arah Aliran *Parallel Flow* Plastik *PP*.**

Data hasil penelitian nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang diperoleh akan dijelaskan dalam grafik berikut:



Gambar 4.7 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *PP* untuk jenis aliran air pendingin *parallel flow*.

Gambar 4.7 di atas menunjukkan hasil grafik persamaan fungsi kuadrat untuk nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *PP* untuk jenis aliran air pendingin *parallel flow* dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = 0.0003q^2 - 0.1447q + 280.66$$

Keterangan : V = Volume (ml)

q = Nilai laju perpindahan panas (Watt)

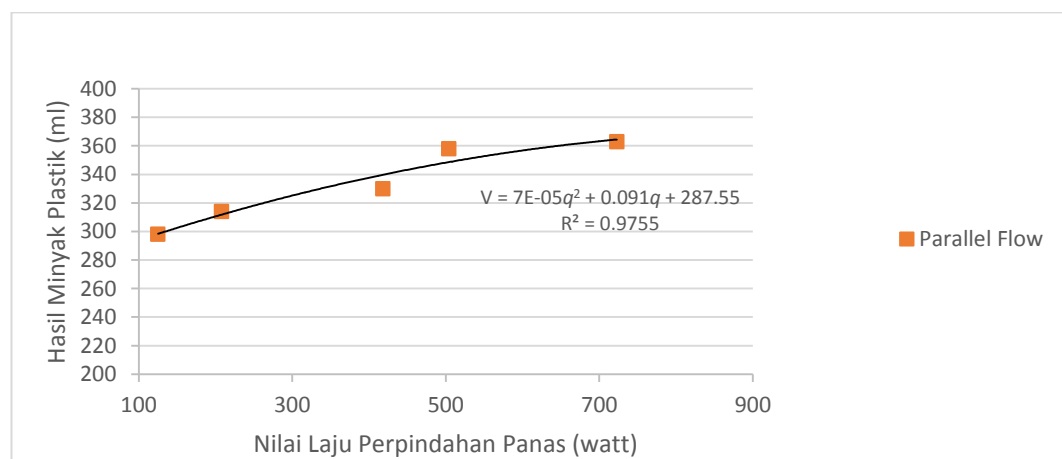
Persamaan fungsi kuadrat diatas hanya berlaku untuk rentang nilai laju perpindahan panas antara 236 - 863 Watt. Dengan persamaan kuadrat di atas dapat diketahui jumlah volume minyak yang didapatkan yaitu dengan cara mensubtitusikan nilai laju perpindahan panas ke dalam persamaan fungsi kuadratnya. Hasil penelitian menunjukkan untuk jenis plastik *PP* volume minyak maksimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 863 Watt dengan hasil minyak 314 ml dan volume minyak minimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 236 Watt dengan hasil sejumlah 260 ml.

Gambar 4.7 di atas juga menunjukkan korelasi nilai *R Square* hubungan nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang didapatkan. Nilai

*R Square* dari grafik adalah  $R^2 = 0.987$  yang jika kita interpretasikan dengan tabel interpretasi nilai *R* pada tabel 4.7 maka nilai *R Square* untuk hubungan ini berada di rentang 0,900 sampai 1,000 yang berarti hubungannya adalah sangat kuat.

**d. Korelasi Nilai Laju perpindahan Panas Dengan Hasil Minyak Untuk Jenis Arah Aliran *Parallel Flow* Plastik *HDPE***

Data hasil penelitian nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang diperoleh akan dijelaskan dalam grafik berikut:



Gambar 4.8 Pengaruh nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *HDPE* untuk jenis aliran air pendingin *parallel flow*.

Gambar 4.8 di atas menunjukkan hasil grafik persamaan fungsi kuadrat untuk nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik jenis *HDPE* untuk jenis aliran air pendingin *parallel flow* dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = 7E-05q^2 + 0.091q + 287.55$$

Keterangan :  $V$  = Volume (ml)

$q$  = Nilai laju perpindahan panas (Watt)

Persamaan fungsi kuadrat diatas hanya berlaku untuk rentang nilai laju perpindahan panas antara 125 – 723 Watt. Dengan persamaan kuadrat di atas

dapat diketahui jumlah volume minyak yang didapatkan yaitu dengan cara mensubstitusikan nilai laju perpindahan panas ke dalam persamaan fungsi kuadratnya. Hasil penelitian menunjukkan untuk jenis plastik *HDPE* volume minyak maksimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 723 Watt dengan hasil minyak 363 ml dan volume minyak minimal didapatkan dengan laju perpindahan panas 125 Watt dengan hasil minyak sejumlah 298 ml.

Gambar 4.8 di atas juga menunjukkan korelasi nilai *R Square* hubungan nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang didapatkan. Nilai *R Square* dari grafik adalah  $R^2 = 0.9755$  yang jika kita interpretasikan dengan tabel interpretasi nilai *R* pada tabel 4.5 maka nilai *R Square* untuk hubungan ini berada di rentang 0,900 sampai 1,000 yang berarti hubungannya adalah sangat kuat.

Dapat disimpulkan dalam penelitian ini bahwa ada pengaruh hubungan yang sangat kuat antara arah aliran air pendingin kondensor terhadap nilai laju perpindahan panas. Hasil penelitian menunjukkan aliran berlawanan arah (*counter flow*) lebih tinggi nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik yang dihasilkan, untuk jenis plastik *PP* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 1.642 Watt dengan hasil minyak sejumlah 360 ml dan untuk jenis plastik *HDPE* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 1.218 Watt dengan hasil minyak sejumlah 400 ml, sedangkan untuk aliran searah (*parallel flow*) lebih rendah dengan hasil, untuk jenis plastik *PP* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 863 Watt dengan hasil minyak 314 ml dan untuk jenis plastik *HDPE* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 723 Watt dengan hasil minyak 363 ml.

Jika nilai laju perpindahan panas yang diperoleh dikorelasikan dengan jumlah minyak plastik yang dihasilkan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor mempengaruhi jumlah minyak plastik yang didapatkan. Hubungan antara keduanya adalah sangat kuat dan jika dilihat dari grafik pada gambar 4.5, gambar 4.6, gambar 4.7 dan gambar 4.8 nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang didapatkan berbanding lurus. Dengan nilai laju perpindahan panas yang tinggi didapatkan jumlah minyak yang lebih banyak dan dengan nilai laju perpindahan panas yang rendah akan didapatkan jumlah minyak yang lebih rendah pula.

### C. Keterbatasan Penelitian

Adapun keterbatasan dalam penelitian ini adalah:

1. Saat melakukan proses kondensasi Kontrol kecepatan aliran uap dari tabung reaktor hanya dilakukan dengan kran buka tutup yang proses buka tutupnya dilakukan dengan menyesuaikan tekanan kerja yaitu sebesar 2 atm.
2. Saat melakukan proses kondensasi menjaga suhu air pendingin untuk tetap stabil untuk penelitian di siang hari cukup sulit.
3. Saat melakukan proses pirolisis, banyak uap polimer yang terbuang sia-sia melewati *safety valve* dikarenakan untuk menjaga agar tekanan kerja aman dalam pengoperasionalan alat.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Simpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Pengaruh hubungan yang sangat kuat antara arah aliran air pendingin kondensor terhadap nilai laju perpindahan panas. Hasil penelitian menunjukkan aliran berlawanan arah (*counter flow*) lebih tinggi nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik yang dihasilkan, untuk jenis plastik *PP* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 1.642 Watt dengan hasil minyak sejumlah 360 ml dan untuk jenis plastik *HDPE* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 1.218 Watt dengan hasil minyak sejumlah 400 ml, sedangkan untuk aliran searah (*parallel flow*) lebih rendah dengan hasil, untuk jenis plastik *PP* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 863 Watt dengan hasil minyak 314 ml dan untuk jenis plastik *HDPE* nilai laju perpindahan panas tertinggi adalah 723 Watt dengan hasil minyak 363 ml.
2. Proses kondensasi uap plastik jenis *HDPE* dan *PP* dengan menggunakan tipe arah aliran air pendingin berlawanan arah (*counter flow*) lebih efektif, karena pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor.

3. Nilai laju perpindahan panas yang diperoleh dikorelasikan dengan jumlah minyak plastik yang dihasilkan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai laju perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor mempengaruhi jumlah minyak plastik yang didapatkan. Hubungan antara keduanya adalah sangat kuat dan jika dilihat dari grafik pada gambar 4.5, gambar 4.6, gambar 4.7 dan gambar 4.8 nilai laju perpindahan panas dengan jumlah minyak plastik yang didapatkan berbanding lurus. Dengan nilai laju perpindahan panas yang tinggi didapatkan jumlah minyak yang lebih banyak dan dengan nilai laju perpindahan panas yang rendah akan didapatkan jumlah minyak yang lebih rendah pula.

## **B. Saran**

Adapun saran yang diberikan terhadap penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh debit air pendingin terhadap hasil minyak yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Proses kondensasi uap plastik jenis *HDPE* dan *PP* disarankan menggunakan tipe arah aliran air pendingin berlawanan arah (*counter flow*), karena pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.
2. Proses kondensasi uap plastik jenis *HDPE* dan *PP* memiliki debit optimal masing masing yang berbeda, jadi disarankan untuk proses kondensasi uap

plastik dari hasil pirolisis dengan prototipe reaktor pirolisis sampah plastik ini untuk jenis plastik HDPE debit optimal digunakan 3,5 liter/menit dan untuk jenis plastik PP debit optimal digunakan 4 liter/menit.

3. Dalam proses pengkondensasian uap plastik hasil pirolisis disarankan kecepatan uap plastik yang akan masuk ke dalam kondensor untuk bisa dijaga konstan agar uap plastik yang akan dikondensasikan bisa maksimal terkondensasi.
4. Perlu dilakukan analisis kondensor prototipe reaktor pirolisis sampah plastik dengan menggunakan software *CFD ANSYS FLUENT*.
5. Perlu penyempurnaan kondensor tipe *double pipe water-cooled condensor* dalam prototipe reaktor pirolisis sampah plastik. Dari data hasil penelitian disarankan untuk dapat digunakan sebagai modal perancangan guna mendapatkan rancangan kondensor untuk prototipe reaktor pirolisis yang lebih sempurna.
6. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kondensor pada prototipe reaktor pirolisis sampah plastik untuk dikembangkan dalam skala yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiyantoro, C. 2010. *Thermoplastik dalam Industri*. Surakarta: Teknik Media
- Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer a Practical Approach*. New York: McGrawHill.
- Elykurniati. 2009. *Pemanfaatan Blotong Menjadi Bahan Bakar Cair dan Arang dengan Proses Pirolisis*. Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.
- Gao, Feng. 2010. *Pyrolysis of Waste Plastic into Fuels*. Thesis. Christchurch: University of Canterbury
- Giancoli, Douglas C. 2005. *Physics Sixth Edition*. New Jersey: Pearson Education.
- Handoyo, Ekadewi Anggraini. 2000 . Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas *Shell-and-Tube Heat Exchanger*. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 2. Nomor 2 : 86 – 90.
- Hartono. 2012. *Statistik Untuk Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Holman, J P. 1988. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Jahirul, Mohammad I, Mohammad G. Rasul, Ashfaque Ahmed Chowdhury, and Nanjappa Ashwath. 2012. Biofuels Production through Biomass Pyrolysis- A Technological Review. *Journal Energies*. Volume 5. Halaman 4952-5001
- Kreith, Frank. 1991. *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta : Erlangga
- Kurniawan, A. 2012. *Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman dan Tidak*. <http://ngeblogging.wordpress.com/2012/06/14/mengenal-kode-kemasan-yang-aman-dan-tidak/>. Diakses pada tanggal 30 Juli 2015 pukul 23.00 WIB
- Munson, Bruce R, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. 2005. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- Ramadhan, Aprian dan Munawar Ali. \_\_\_\_\_. Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Volume 4. Nomor 1: Halaman 44-53
- Sharobem, Timothy T. 2010. *Tertiary Recycling Of Waste Plastics: An Assesment Of Pyrolysis By Microwave Radiation*. New York: Columbia University

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

Welty, James R, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson, Gregory Rorrer. 2004. *Dasar Dasar Fenomena Transport*. Jakarta: Erlangga.

## **LAMPIRAN – LAMPIRAN**



## Lampiran 1. Daftar Singkatan

### DAFTAR SINGKATAN

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
<i>HDPE</i>	<i>High Density Polyethylene</i>	4
<i>PP</i>	<i>Polypropylene</i>	4
<i>PET</i>	<i>Polyethylene Terephthalate</i>	10
<i>PVC</i>	<i>Polyvinyl Chloride</i>	10
<i>LDPE</i>	<i>Low Density Polyethylene</i>	10
<i>PS</i>	<i>Polystyrene</i>	10
<i>PA</i>	<i>Polyamide</i>	11
<i>ABS</i>	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>	11
<i>PMMA</i>	<i>Poly Methyl Methacrylate</i>	11
<i>PC</i>	<i>Polycarbonate</i>	11
LPG	Liquefied Petroleum Gas	27
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers	32



## Lampiran 2. Hasil Penelitian

Tabel pengaruh arah aliran air pendingin terhadap jumlah minyak plastik yang didapatkan pada jenis plastik *PP* dan *HDPE* jenis aliran *Counter Flow*.

Variasi Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Kapasitas Minyak Plastik (ml)	
		<i>PP</i>	<i>HDPE</i>
<i>Counter flow</i>	2	300	325
	2,5	315	350
	3	330	370
	3,5	344	400
	4	360	390
<i>Parallel flow</i>	2	260	298
	2,5	272	314
	3	286	330
	3,5	300	358
	4	314	363

Tabel pengaruh arah aliran air pendingin terhadap nilai laju perpindahan panas proses kondensasi uap plastik jenis *PP* dan *HDPE* jenis aliran *Counter Flow*.

Variasi Arah Aliran Pendingin	Debit Air Pendingin (liter/menit)	Nilai Laju perpindahan panas (Watt)					
		<i>PP</i>			<i>HDPE</i>		
		Tc <sub>1</sub>	Tc <sub>2</sub>	<i>q</i>	Tc <sub>1</sub>	Tc <sub>2</sub>	<i>q</i>
<i>Counter flow</i>	2	29,5	26	487	29,1	26	473
	2,5	29,8	26	661	29,5	26	608
	3	30,5	26	940	30,1	26	857
	3,5	31,7	26	1.389	30,8	26	1.218
	4	31,9	26	1.642	30,3	26	1.197
<i>Parallel flow</i>	2	27,7	26	236	26,9	26	125
	2,5	28,0	26	347	27,2	26	208
	3	28,2	26	459	28,0	26	418
	3,5	28,5	26	609	28,4	26	504
	4	29,1	26	863	28,6	26	723

### **Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian**

#### **1. Instalasi prototipe reaktor pirolisis sampah plastik**



#### **2. Mempersiapkan sampah plastik jenis HDPE dan PP**





**3. Menimbang sampah plastik**



**4. Proses pemasukkan bahan ke dalam alat penelitian**



## 5. Pemasangan dan setting alat ukur penelitian



## 6. Proses pirolisis



**7. Proses kondensasi dan pembacaan pengukuran suhu kondensor**



**8. Pengukuran hasil minyak yang diperoleh**



**9. Hasil minyak yang diperoleh**







## Lampiran 4. Surat Keputusan Penetapan Dosen Pembimbing

  
**KEPUTUSAN  
DEKAN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**  
Nomor: 518 / FT-UNNES / 2015  
Tentang  
**PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER  
GASAL/GENAP  
TAHUN AKADEMIK 2014/2015**

Menimbang : Bahwa untuk memperancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.

Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)  
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES  
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;  
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;

Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Tanggal 3 Juni 2015

**MEMUTUSKAN**

Menetapkan :  
PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:  
Nama : Dr. Basyirun, S.Pd., M.T.  
NIP : 196809241994031002  
Pangkat/Golongan : IV/B  
Jabatan Akademik : Lektor Kepala  
Sebagai Pembimbing  
Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :  
Nama : SIGIT HARYADI  
NIM : 5201411057  
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin  
Topik : PENGARUH ARAH ALIRAN AIR PENDINGIN PADA KONDENSOR TERHADAP HASIL PENGEMBUNAN PROSES PIROLISIS LIMBAH SAMPAH PLASTIK

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan  
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik  
2. Ketua Jurusan  
3. Petinggal

5201411057

PM-03-AND-2479v. 00

DITETAPKAN DI : SEMARANG  
PADA TANGGAL : 3 Juni 2015  
DEKAN  
  
Dr. Muhammad Harfanu, M.Pd.  
NIP. 196802151991021001



## Lampiran 5. Surat Tugas Dosen Pembimbing dan Penguji



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
FAKULTAS TEKNIK

Gedung E1 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229  
Telepon/Fax (024) 8508101 – 8508009  
Laman : <http://www.ft.unnes.ac.id>, email: [ft\\_unnes@yahoo.com](mailto:ft_unnes@yahoo.com)

### SURAT TUGAS

Nomor : 7071 /UN37.1.5/TU/2015

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang memberi tugas kepada Saudara yang namanya tersebut di bawah ini sebagai Penguji Seminar Proposal Mahasiswa Prodi S1 Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Adapun nama-namanya sebagai berikut :

No	Nama / NIP	Pangkat / Golru	Tugas
1	Dr. Samsudin Anis S.T., M.T. 197601012003121002	Pembina Tk. I, IV/ b	Penguji 1
2	Drs. M. Burhan R.W., M.Pd. 19630213188031001	Pembina Tk. I, IV/ b	Penguji 2
3	Dr. Basyirun, S.Pd., M.T. 196806241994031003	Pembina Tk. I, IV/ b	Pembimbing

Untuk menguji mahasiswa :

Nama : SIGIT HARYADI  
NIM : 5201411057  
Prodi : S1 Pendidikan Teknik Mesin (PTM)  
Topik : PENGARUH ARAH ALIRAN AIR PENDIDINGIN PADA KONDENSOR TERHADAP HASIL PENGEMBUNAN PROSES PIROLISIS LIMBAH SAMPAH PLASTIK

Waktu : Kamis, 3 September 2015  
Jam : 07.00 WIB sampai selesai  
Tempat : Ruang Ujian E9 lantai 3

Demikian agar tugas dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Semarang, 1 September 2015



Dekan  
Dr. H. Muhammad Harlanu, MPd.  
NIP. 196602151991021001

Tembusan :

1. Pembantu Dekan II
2. Ketua Jurusan TM
3. Kasubbag Keuangan  
Fakultas Teknik UNNES

## Lampiran 6. Surat Izin Penelitian



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**FAKULTAS TEKNIK**

Gedung E1 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229

Telepon/Fax (024) 8508101 – 8508009

Laman : <http://www.ft.unnes.ac.id>, email: [ft\\_unnes@yahoo.com](mailto:ft_unnes@yahoo.com)

Nomor : 7505/UM.37.1.5/DH/2015  
Lamp. : .....  
Hal : Ijin Penelitian

Kepada  
Yth. Ketua Jurusan Teknik Mesin FT Unnes  
di Jurusan Teknik Mesin FT Unnes

Dengan Hormat,  
Bersama ini, kami mohon ijin pelaksanaan penelitian untuk menyusun skripsi/tugas akhir oleh mahasiswa sebagai berikut:

Nama : SIGIT HARYADI  
NIM : 5201411057  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin, S1  
Topik : PENGARUH ARAH ALIRAN AIR PENDINGIN PADA KONDENSOR TERHADAP HASIL PENGEMBUNAN PROSES PIROLISIS LIMBAH SAMPAH PLASTIK

Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Semarang, 16 September 2015  
Dekan,

Dr. H. Muhammad Harlanu, M.Pd.  
NIP. 196602151991021001