

**PENGARUH DIAMETER PIPA KONDENSOR TERHADAP  
LAJU ALIRAN KALOR DAN VOLUME ASAP CAIR PADA  
ALAT PIROLISIS**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar  
Sarjana Pada Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Islam Riau*



**DISUSUN OLEH:**

**NANDA IVO KURNIAWAN**

**NPM : 14.331.0359**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU**

**2019**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH DIAMETER PIPA KONDENSOR TERHADAP  
LAJU ALIRAN KALOR DAN VOLUME ASAP CAIR PADA  
ALAT PIROLISIS**

**Disusun Oleh :**

**NANDA IVO KURNIAWAN**

**14.331.0359**

**Diperiksa Dan Disetujui Oleh :**

**EDDY ELFIANO, ST., M.Eng**

**Dosen Pembimbing I**

\_\_\_\_\_  
**Tanggal :**

**SEHAT ABDI SARAGIH, ST., MT**

**Dosen Pembimbing II**

\_\_\_\_\_  
**Tanggal :**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH DIAMETER PIPA KONDENSOR TERHADAP  
LAJU ALIRAN KALOR DAN VOLUME ASAP CAIR PADA  
ALAT PIROLISIS**

**Disusun Oleh :**

**NANDA IVO KURNIAWAN**

**14.331.0359**

**Disetujui Oleh :**

**PEMBIMBING I**

**PEMBIMBING II**

**EDDY ELFIANO, ST., M.Eng**

**SEHAT ABDI SARAGIH, ST., MT**

**Disahkan Oleh :**

**DEKAN FAKULTAS TEKNIK**

**KETUA PROGRAM STUDI  
TEKNIK MESIN**

**Ir.H.ABD. KUDUS ZAINI, MT., MS., Tr**

**DODY YULIANTO, ST.,MT**

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Nanda Ivo Kurniawan

Npm : 14.331.0359

Program Studi : Teknik Mesin Universitas Islam Riau

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk tugas akhir dengan judul **“PENGARUH DIAMETER PIPA KONDENSOR TERHADAP LAJU ALIRAN KALOR DAN VOLUME ASAP CAIR PADA ALAT PIROLISIS”** yang diajukan guna melengkapi pernyataan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikat dari tugas akhir yang telah dipublikasikan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali pada bagian yang sumber informasinya. Demikian surat pernyataan ini saya buat sebagaimana mestinya.

Pekanbaru, 5 Desember 2019

**Nanda ivo Kurniawan**  
**14.331.039**

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### DATA PERSONAL

Nama Lengkap : NANDA IVO KURNIAWAN  
Npm : 14.331.0359  
Tempat Tanggal Lahir : Duri, 12 Desember 1995  
Jenis Klamin : Laki-Laki  
Alamat : Jl. Asrama Tribatra

### PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SD Impres 016  
Sekolah Menengah Pertama : SMP Muhammadiyah  
Sekolah Menengah Atas : SMA Negeri 04 Mandau  
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau (Teknik Mesin S1)

### TUGAS AKHIR

PENGARUH DIAMETER PIPA KONDENSOR TERHADAP LAJU ALIRAN  
KALOR DAN VOLUME ASAP CAIR PADA ALAT PIROLISIS

Tempat Penelitian : Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin  
Universitas Islam Riau

Tanggal Seminar Proposal : 27 Maret 2019

Tanggal Sidang : 4 Desember 2019

Pekanbaru, 4 Desember 2019

**NANDA IVO KURNIAWAN**  
**Npm : 14. 331. 0359**

## KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Wr Wb**

Puji dan syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas izinNya akhirnya saya dapat menyelesaikan tugas ini tidak lupa pula shalawat serta salam kepada junjungan nabi besar muhammad SAW yang membawa kita dari alam kegelapan menuju alam yang terang benerang.

Adapun judul Tugas Akhir ini adalah **“Pengaruh Diameter Pipa Kondensor Terhadap Laju Aliran Kalor Dan Volume Asap Cair Pada Alat Pirolisis”**. Tugas Akhir ini merupakan tugas terakhir bagi mahasiswa Teknik Mesin sebagai syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak baik langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Kepada kedua orang tua, Bapak Agusman dan Ibu Murniati, terimakasih yang tak terhingga atas segala kasih sayang, dorongan semangat, bantuan baik moril maupun material dan segala-galanya kepada saya selama ini.
2. Bapak Ir.H.Abd.Kudus Zaini,MT.,MS.,TR. selaku Dekan Fakultas Teknik UIR.
3. Bapak Dody Yulianto,ST.,MT. selaku ketua Program Studi Teknik Mesin UIR.

4. Bapak Eddy Elfiano, S.T., M.Eng. sebagai dosen pembimbing pertama yang telah bersedia untuk meluangkan waktu membimbing, memeriksa, memberikan petunjuk-petunjuk serta saran dalam penyusunan laporan ini.
5. Bapak Sehat Abdi Saragih, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing kedua yang telah bersedia untuk meluangkan waktu membimbing, memeriksa, memberikan petunjuk-petunjuk serta saran dalam penyusunan laporan ini.
6. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan pengajaran kepada penulis selama dibangku kuliah serta karyawan/ti Tata Usaha Fakultas Teknik UIR yang telah ikut membantu proses kegiatan belajar mengajar di kampus.
7. Abang saya Faisal Andriadi dan Wahyu Viki Saputra dan juga kakak saya Yuliana yang telah memberikan saya semangat, dan dorongan untuk tidak putus asa dalam menyelesaikan kuliah saya sehingga saya mendapatkan gelar sarjana ini
8. Muhammad Cendekia Fadhilah, ST sebagai rekan seperjuangan dari awal hingga sekarang yang telah memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis
9. Maulidya Husna, S.Pd yang telah membantu saya dalam pembuatan abstrak sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan Teknik mesin, Mustaqim, ST, Hermansyah Damanik, Anton Maulana, Bayu Susanto, Robby Novrizaldi, Ilham Arda Subari, Fuad S Hidayat, Imam Setiawan ST dan seluruh Angkatan 2014 dan teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu yang sudah membantu penulis dan memberikan semangat serta dukungan kepada penulis.

Akhir kata, dengan segala penuh harapan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penulis sendiri khususnya, dan dapat dijadikan sebagai referensi bagi penelitian-penelitian yang akan datang dan dapat dikembangkan sebagai ilmu pengetahuan di masyarakat luas

**Wassalamu'alaikum Wr Wb**

Pekanbaru, Desember 2019

**Penulis**



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Penelitian.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Asap Cair.....	6
2.2 Pirolisis.....	7
2.3 Proses Pirolisis .....	9
2.4 Komponen-Komponen Alat Pirolisis .....	10
2.4.1 Furnace .....	10
2.4.2 Reaktor .....	10
2.4.3 Pipa Penyalur.....	11
2.4.4 Kondensor.....	11
2.4.5 Penampung Asap Cair .....	14

2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pirolisis .....	14
2.6 Kandungan Asap Cair .....	15
2.7 Manfaat Asap Cair .....	16
2.8 Produk Hasil Pirolisis .....	17
2.9 Laju Aliran Kalor .....	18
2.9.1 Perpindahan Panas Konveksi .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat Dan Waktu Pelaksanaan.....	23
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	23
3.3 Studi Literatur .....	25
3.4 Alat Dan Bahan .....	25
3.4.1 Alat.....	25
3.4.2 Bahan.....	31
3.5 Perakitan Alat.....	31
3.6 Metode Pengujian.....	31
3.7 Pengolahan Data.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pembahasan Pengujian Pertama.....	36
4.2 Pembahasan Pengujian Kedua .....	37
4.3 Pembahasan Pengujian Ketiga .....	37
4.4 Perhitungan Laju Aliran Kalor.....	38
4.4.1 Perhitungan Pengujian Pertama .....	39
4.4.2 Perhitungan Pengujian Kedua .....	43

4.4.3	Perhitungan Pengujian Ketiga.....	44
4.5	Analisa Data.....	45
4.5.1	Analisa Laju Aliran Kalor.....	45
4.5.2	Analisa Volume Asap Cair.....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

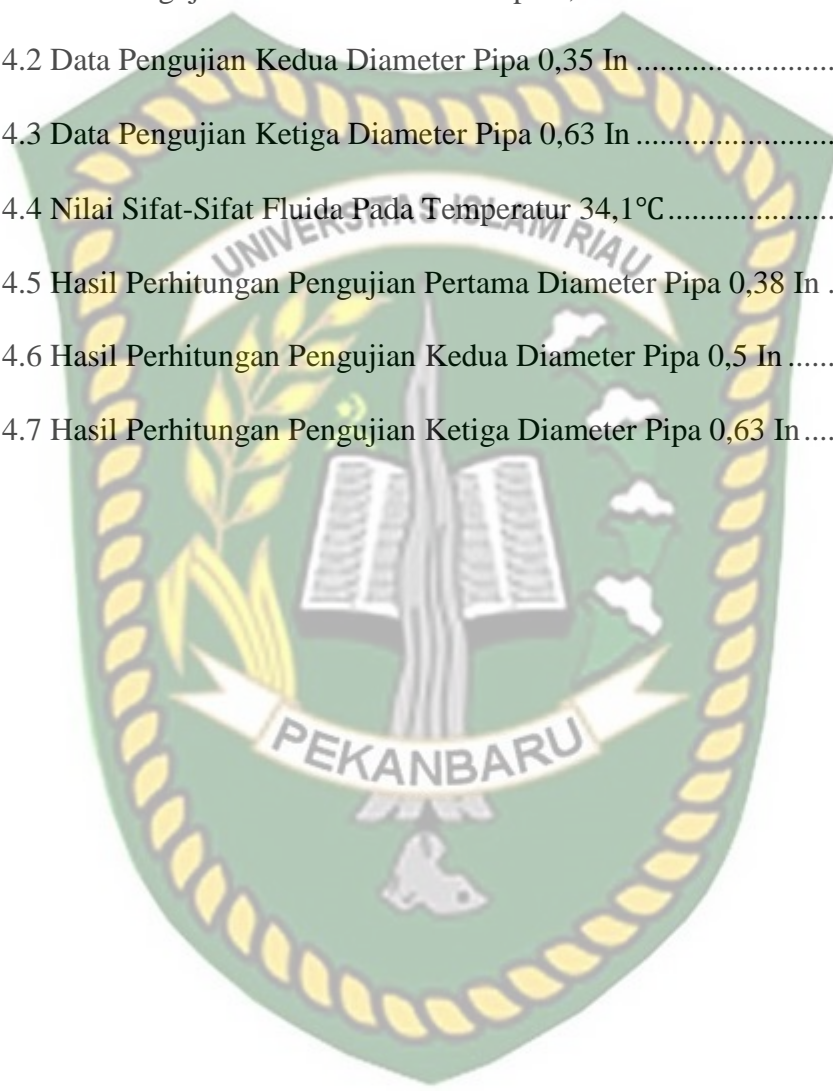


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Asap Cair.....	7
Gambar 2.2 Rancang Bangun Alat Pirolisis .....	8
Gambar 2.3 LPG ( <i>Liquid Petroleum Gas</i> ).....	10
Gambar 2.4 Reaktor Asap Cair .....	11
Gambar 2.5 Tabung Kondensor .....	12
Gambar 2.6 Pipa Spiral .....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir .....	24
Gambar 3.2 Sketsa Alat Pirolisis .....	25
Gambar 3.3 Pemanas.....	26
Gambar 3.4 Reaktor .....	27
Gambar 3.5 Pipa Penyalur.....	27
Gambar 3.6 Pipa Spiral .....	28
Gambar 3.7 Tabung Kondensor .....	29
Gambar 3.8 Gelas Ukur.....	30
Gambar 4.1 Grafik Laju Aliran Kalor.....	46
Gambar 4.2 Grafik Volume Asap Cair .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Pengujian Pertama Diameter Pipa 0,38 In.....	36
Tabel 4.2 Data Pengujian Kedua Diameter Pipa 0,35 In .....	37
Tabel 4.3 Data Pengujian Ketiga Diameter Pipa 0,63 In .....	38
Tabel 4.4 Nilai Sifat-Sifat Fluida Pada Temperatur 34,1°C.....	41
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Pengujian Pertama Diameter Pipa 0,38 In .....	43
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Pengujian Kedua Diameter Pipa 0,5 In .....	44
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Pengujian Ketiga Diameter Pipa 0,63 In.....	45



## DAFTAR NOTASI

V	Volume	$m^3$
q	Laju Aliran Kalor	W
h	Koefisien Perpindahan Panas	$W/m^2K$
A	Luas Lintasan Energi	$m^2$
T	Temperature	$^{\circ}C$
Re	Bilangan Reynold	
$\rho$	Densitas	$kg/m^3$
v	Kecepatan Aliran	m/s
D	Diameter	$m^2$
$\mu$	Viskositas Dinamik	$kg/m\ s$
Q	Debit	$m^3$
t	Waktu	s
Pr	Bilangan Prandtl	
cp	Spesifik Heat	$J/kg\ K$
k	Konduktivitas Fluida	$W/m\ K$
Nu	Bilangan Nuzzelt	
m	Massa	kg



# PENGARUH DIAMETER PIPA KONDENSOR TERHADAP LAJU ALIRAN KALOR DAN VOLUME ASAP CAIR PADA ALAT PIROLISIS

Nanda Ivo Kurniawan, Eddy Elfiano, ST., M.Eng, Sehat Abdi S, ST., MT

Email: nandaivo106@gmail.com

Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau Jl. Khairudin

Nasution Km 11 No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

## ABSTRAK

Pirolisis merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Reaksi pirolisis akan menghasilkan produk berupa padatan, cairan dan gas. Komponen-komponen penyusun alat ini terdiri dari pemanas, reaktor, pipa penyalur asap, wadah kondensor, pipa spiral, katub asap cair dan penampung asap cair. Salah satu komponen penting penentu keberhasilan dalam pembuatan asap cair tempurung kelapa pada alat pirolisis ini adalah kondensor. Kondenser merupakan sebuah alat penukar panas (*heat exchanger*) yang berfungsi mengkondensasikan fluida kerja. Kondensasi terjadi jika suhu dari bahan dibawah suhu saturasi dari gas, kemudian pada gas terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair. Pengujian ini menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan baku yang telah di bersihkan dan di perkecil ukurannya, proses pirolisis ini berlansung selama 3 jam setiap satu pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan diameter pipa 0,38, 0,5 dan 0,63 in. dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa laju perpindahan panas yang tertinggi pada pipa kondensor lebih di dominasi pipa berdiameter 0,5 in dengan total nilai laju aliran kalor sebesar 16,01 W. Pipa yang menghasilkan volume asap cair paling besar yaitu 398 ml pada pipa diameter 0,5 in.

Kata kunci : asap cair, pirolisis, diameter, tempurung kelapa, laju aliran kalor, volume

# ***THE EFFECT OF CONDENSOR PIPELINE DIAMETER ON CALOR FLOW RATE AND LIQUID VOLUME FLOW ON PIROLYSIS TOOL***

**Nanda Ivo Kurniawan<sup>1</sup>, Eddy Elfiano, ST., M.Eng, Sehat Abdi S, ST., MT**

Email: nandaivo106@gmail.com

Mechanical Engineering Study, Faculty of Engineering, Riau Islamic University

Jl. Khairudin Nasution Km 11 No. 113 Marpoyan Station, Pekanbaru

Tel. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

## ***ABSTRACT***

*Pyrolysis is an irregular decomposition process of organic materials caused by heating without contact with outside air. Pyrolysis reaction will produce products in the form of solids, liquids and gases. The components of this device consist of heaters, reactors, smoke conduit pipes, condenser containers, spiral pipes, liquid smoke valves and liquid smoke reservoirs. One important component in determining the success in making liquid coconut shell smoke in this pyrolysis tool is a condenser. The condenser is a heat exchanger that functions to condense the working fluid. Condensation occurs if the temperature of the material is below the saturation temperature of the gas, then the gas changes in phase from steam to liquid. This test uses a coconut shell as raw material that has been cleaned and reduced in size, this pyrolysis process continues for 3 hours every single test. The test was carried out three times with a pipe diameter of 0.38, 0.5 and 0.63 in. from the results of the study it can be seen that the highest heat transfer rate in the condenser pipe is dominated by 0.5 in diameter pipe with a total heat flow rate of 16.01 W. The pipe that produces the largest volume of liquid smoke is 398 ml in pipe diameter 0.5 in.*

*Keywords: liquid smoke, pyrolysis, pipe diameter, heat flow rate, volume*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Asap cair merupakan suatu hasil destilasi atau pengembunan uap hasil pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon serta senyawa-senyawa lain. Bahan baku yang digunakan biasanya adalah tempurung kelapa, bonggol jagung, kayu, bongkol kelapa sawit, ampas hasil penggergajian kayu dan lain sebagainya (Yuliyani and Prayogo, 2013). Asap cair memiliki fungsi penghambat perkembangan bakteri dan aman sebagai pengawet alami. Asap cair biasa juga digunakan sebagai pestisida alami untuk membasmi hama tanaman. Alat yang dapat mengubah fasa gas atau uap menjadi cair adalah pirolisis.

Pirolisis merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Reaksi pirolisis akan menghasilkan produk berupa padatan, cairan dan gas. Pirolisis memiliki tujuan untuk melepaskan *volatile matter* yang terkandung pada biomassa cukup tinggi. Bahan yang dapat dikonversi secara pirolisa adalah bahan yang mempunyai kandungan selulosa tinggi (Nuryati et al, 2015). Komponen-komponen penyusun alat ini terdiri dari pemanas, reaktor, pipa penyalur asap, wadah kondensor, pipa spiral, katub asap cair dan penampung asap cair. Salah satu komponen penting penentu keberhasilan dalam pembuatan asap cair dari limbah tempurung kelapa pada alat pirolisis ini adalah kondensor.

Kondensor merupakan bagian dari komponen alat pirolisis asap cair yang berfungsi menerima uap lalu menghilangkan panas uap tersebut dengan cara mendinginkan uap ke titik embunnya. Hilangnya panas uap pada proses kondensasi disebabkan perbedaan suhu antara uap dan media pendingin, dimana suhu media pendingin lebih rendah dibandingkan uap panas. Media atau fluida pendingin yang digunakan dapat berupa udara, air dan oli. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses kondensasi antara lain adalah luas permukaan, waktu dan suhu pada kondensor.

Terjadinya proses perpindahan panas adalah atas dasar hukum Termodinamika dua yang menyatakan bahwa energi cenderung mengalami degenerasi menjadi energi yang lebih rendah. Banyaknya asap cair yang dihasilkan pada proses kondensasi tergantung pada luas permukaan perpindahan panas persatuan waktu. Semakin besar luas permukaan perpindahan panas, semakin banyak pula gas yang terkondensasi menjadi asap cair. Penelitian sebelumnya memvariasikan jumlah pipa kondensor yang berbeda-beda dengan diameter pipa yang sama. Dalam penelitian tersebut menyatakan semakin besar luas permukaan perpindahan panas maka akan semakin banyak pula uap hasil pembakaran yang dapat terkondensasi. Luas permukaan perpindahan panas ini akan mempengaruhi volume asap cair yang di hasilkan (Nurkholis and Jamilatun, 2018). Selain menambah jumlah pipa atau menambah panjang pipa, memperbesar diameter pipa juga dapat meningkatkan luas permukaan perpindahan panas. Hal ini melatar belakangi penelitian ini untuk memvariasikan diameter pipa kondensor terhadap luas permukaan perpindahan panas dalam mempengaruhi laju aliran kalor dan volume asap cair yang di hasilkan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan penelitian yang akan di bahas sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh diameter pipa kondensor terhadap volume asap cair yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh diameter pipa kondensor terhadap laju aliran kalor dengan diameter pipa yang berbeda-beda?

## 1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan penelitian diatas maka tujuan penelitian adalah:

1. Mendapatkan pengaruh diameter pipa kondensor terhadap volume asap cair yang di hasilkan pada alat pirolisis
2. Mendapatkan pengaruh diameter pipa kondensor terhadap laju aliran kalor pada alat pirolisis

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas suatu penelitian agar dapat dibahas dengan baik dan tidak meluas, maka perlu di rencanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Diameter pipa kondensor yang akan digunakan dalam pengujian alat pirolisis adalah 0,38 in, 0,5 in, dan 0,63 in
2. Bahan baku pembuatan asap cair yang digunakan pada penelitian ini adalah tempurung kelapa
3. Penelitian ini hanya sampai hasil asap cair grade 3 (kualitas terendah dari proses pirolisis)

4. Massa bahan baku yang digunakan dalam satu kali pengujian alat pirolisis asap cair yaitu 2 kg.
5. Pengujian dilakukan selama 3 jam
6. Tipe alat pirolisis yang digunakan pada pengujian adalah tipe retort yaitu energi panas diperoleh dari luar sistem

### **1.5 Sistematika penulisan**

Penyusunan ini bisa di jadikan proposal judul untuk tugas akhir terbagi dalam lima bab secara garis besar dapat di jelaskan sebagai berikut:

#### **Bab I           Pendahuluan**

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **Bab II           Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian refrigerasi yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.

#### **Bab III         Metodologi Penelitian**

Bab ini menjelaskan segala hal yang dikerjakan mulai dari tempat, waktu pelaksanaan, peralatan, tahapan dan prosedur penelitian.

#### **Bab IV         Hasil dan Pembahasan**

Bab ini berisikan hasil dan pembahasan yang terdapat dalam penelitian.

#### **Bab V         Kesimpulan Dan Saran**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Asap Cair

Asap cair atau *Liquid Smoke* yang lebih dikenal sebagai asap cair merupakan suatu hasil destilasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon serta senyawa-senyawa lain. Asap memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena distilat asap atau asap cair tempurung mengandung lebih dari 400 komponen dan memiliki fungsi sebagai penghambat perkembangan bakteri dan cukup aman sebagai pengawet alami antara lain asam, *fenolat*, dan *karbonil*. (M. Yunus, 2011) Kualitas dari asap Cair dibedakan atas penggunaannya. Ada 3 jenis kualitas asap cair yang dinamakan grade asap cair, yaitu sebagai berikut:

- 1) Asap cair grade 3 yaitu warna coklat gelap, rasa asam kuat, aroma asap kuat, digunakan untuk penggumpal karet pengganti asam semut, penyamakan kulit, pengganti antiseptik untuk kain, menghilangkan jamur dan mengurangi bakteri pathogen. Tidak dapat digunakan untuk pengawet makanan, karena masih banyak mengandung tar yang karsinogenik.
- 2) Asap cair grade 2 yaitu warna kecoklatan transparan, rasa asam sedang, aroma asap lemah, digunakan untuk makanan dengan taste asap (daging asap, bakso, mie, tahu, ikan kering, telur asap, bumbu-bumbu barbaque, ikan asap/bandeng asap). Asap cair digunakan untuk pengawet makanan sebagai pengganti formalin, rasa asam sedang, aroma asap lemah.

- 3) Asap cair grade 1 digunakan sebagai pengawet makanan seperti bakso, mie, tahu, bumbu-bumbu barbaque, berwarna bening, rasa sedikit asam, aroma netral, merupakan asap cair yang paling bagus kualitasnya dan tidak mengandung senyawa yang berbahaya lagi untuk di aplikasikan untuk produk makanan (Yuliyani and Prayogo, 2013).



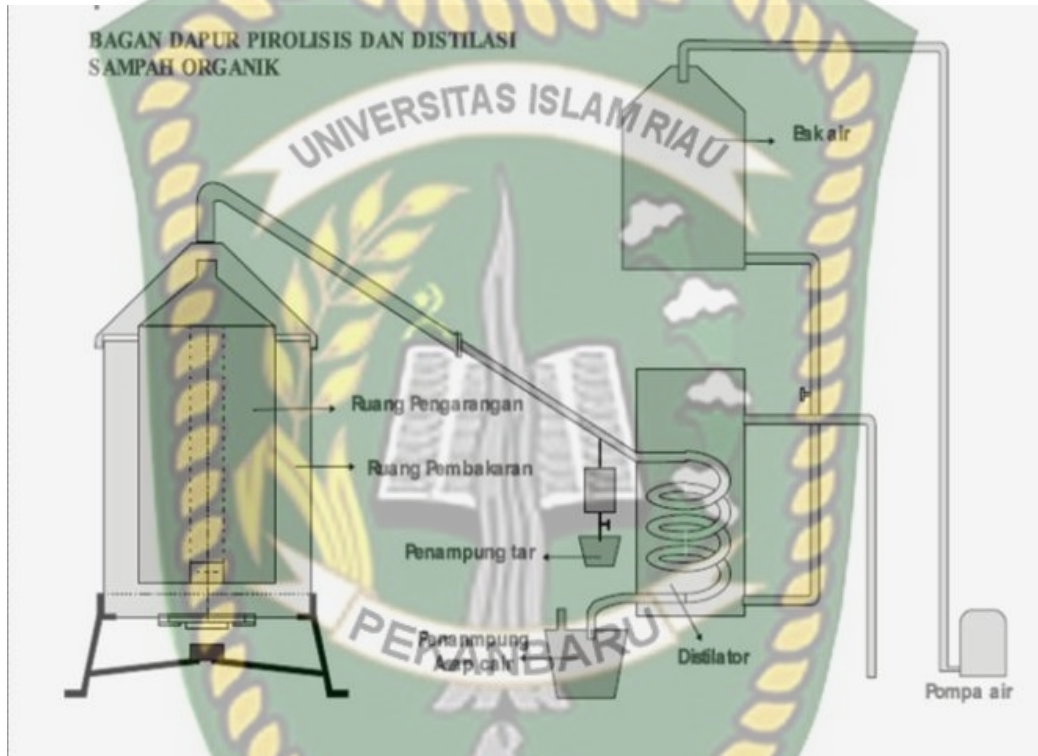
**Gambar 2.1** Asap Cair

(sumber: Muhammad Machrush Cania Putra, 2015)

## 2.2 Pirolisis

Pirolisis merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Secara umum ada dua tipe alat untuk proses pirolisa yang dibedakan berdasarkan pada perbedaan pemberian energi panas. Kedua tipe tersebut adalah tipe *kiln* dan tipe *retort*. Pada tipe *kiln* energi panas diperoleh dari pembakaran sebagian bahan baku. Sedangkan pada tipe *retort*, energi panas diperoleh dari luar system (Pukoliwutang, et al, 2017).

Reaksi pirolisis akan menghasilkan produk berupa padatan, cairan dan gas. Pirolisis memiliki tujuan untuk melepaskan *volatile matter* yang terkandung pada biomassa cukup tinggi. Bahan yang dapat dikonversi secara pirolisa adalah bahan yang mempunyai kandungan selulosa tinggi. (Nuryati, et al, 2015)



**Gambar 2.2** Rancang bangun alat pirolisis

(sumber: Slamet and Hidayat, 2017)

### 2.3 Proses Pirolisis

Asap cair diperoleh dengan beberapa tahapan yaitu pirolisis dan kondensasi. Proses pirolisis adalah proses penguraian dengan memanaskan bahan, dimana bahan dimasukkan ke dalam pirolisator dan dipanaskan pada suhu tertentu sehingga menghasilkan asap atau uap. Hasil dari proses pirolisis ini akan masuk ke kondensator melalui pipa penyalur. Pada kondensator asap akan mengalir didalam

pipa spiral yang ada pada kondensor. Pada kondensor tidak hanya pipa spiral saja yang ada dalam kondensor terdapat juga fluida sebagai media pendinginnya. Fluida yang digunakan dapat berupa air, oli dan udara dalam mempercepat proses kondensasi.

Kondensasi adalah proses pendinginan yaitu terjadinya pelepasan kalor. Panas asap atau uap dari proses pirolisis akan diserap oleh media pendingin sehingga terjadi pengembunan pada dinding-dinding pipa kondensor. Asap atau uap yang telah mengembun akan keluar melalui katub keluar yang dikenal asap cair. Pada proses ini asap atau uap juga keluar melalui katub keluar bersamaan dengan asap cair hal ini disebabkan asap tidak terkondensasi seluruhnya. Pada pirolisis terdapat dua tingkatan proses, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku dan berlangsung pada suhu kurang dari  $600^{\circ}\text{C}$ , hasil penguraian utama adalah karbon (arang). Pirolisis sekunder yaitu pirolisis yang terjadi pada partikel dan gas atau uap hasil pirolisis primer dan berlangsung diatas suhu  $600^{\circ}\text{C}$ . Hasil dari pirolisis pada suhu ini adalah karbon monoksida (CO), hydrogen ( $\text{H}_2$ ), hidrokarbon (Yuliyani and Prayogo, 2013).

## **2.4 Komponen-komponen alat pirolisis asap cair**

### **2.4.1 Furnace**

Pirolisis menggunakan furnace sebagai penghasil panas. Furnace dapat diklasifikasikan berdasarkan pembangkit atau bahan bakar yang digunakan seperti *furnace* yang menggunakan bahan bakar minyak, batu bara, gas, kayu bakar, dan menggunakan listrik. Penelitian alat pirolisis ini menggunakan Pemanas berbahan bakar LPG 3 kg.





**Gambar 2.3** LPG (*liquified petroleum gas*)

#### 2.4.2 Reaktor

*Reactor pyrolysis* adalah alat pengurai senyawa-senyawa organik yang dilakukan dengan proses pemanasan tanpa berhubungan langsung dengan udara luar dengan suhu 300-600°C. Reaktor *pyrolysis* dibalut dengan selimut dari bata dan tanah untuk menghindari panas keluar berlebihan. Proses *pyrolysis* menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padat, cairan dan gas (Nurfadilla, 2018)



**Gambar 2.4** Reaktor asap cair

(sumber: Nuryati et al, 2015)

### 2.4.3 Pipa penyalur

Pipa penyalur adalah pipa yang menghubungkan antara tabung reaktor dengan tabung kondensor. Asap yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna pada reaktor akan mengalir melalui pipa penyalur menuju ke kondensor. Pipa penyalur pada alat pirolisis ini adalah pipa *stainless steel* berbentuk lurus memanjang.

### 2.4.4 Kondensor

Kondenser merupakan sebuah alat penukar panas (*heat exchanger*) yang berfungsi mengkondensasikan fluida kerja. Kondensasi terjadi jika suhu dari bahan di bawah suhu saturasi dari gas, kemudian pada gas atau uap terjadi perubahan fase menjadi cair. Terdapat dua jenis kondensasi yang terjadi pada proses kondensasi di dalam kondenser, yaitu kondensasi lapisan (*film*) dan kondensasi titik (*droplet*). Pada kondensasi lapisan, proses terjadinya dimulai dengan timbulnya lapisan film yang menyelubungi dinding-dinding sebelah dalam pipa dan semakin lama akan menjadi lapisan tebal serta akhirnya mengalir akibat pengaruh gravitasi. Pada kondensasi titik, proses kondensasi terjadi dengan dimulainya titik-titik yang akhirnya berubah dan berkembang menjadi tetesan-tetesan cairan dan jatuh dari permukaan akibat dari gravitasi (Gabe, 2015).



**Gambar 2.5** Tabung kondensor  
(sumber: Nuryati et al, 2015)

Kondensor merupakan bagian paling penting pada alat pirolisis ini, karena pada kondensor terjadi perubahan fasa dari gas menjadi cair. Adapun komponen-komponen pada kondensor yaitu sebagai berikut:

1. Pipa kondensor

Pipa kondensor adalah pipa yang digunakan sebagai tempat terjadinya proses pengembunan berlangsung. Jenis material pipa yang digunakan pada alat pirolisis ini adalah jenis pipa tembaga yang di bentuk spiral.



**Gambar 2.6** Pipa kondensor  
(sumber: Slamet and Hidayat, 2017)

## 2. Tabung kondensor

Tabung kondensor merupakan wadah dimana di dalamnya terdapat pipa spiral sebagai tempat asap mengalir. Tabung kondensor menggunakan air sebagai media pendinginnya. Air yang ada di dalam tabung kondensor akan di sirkulasi menggunakan pompa agar suhu air dalam tabung kondensor tidak terlalu tinggi.

## 3. Katub asap cair

Katub asap cair adalah katub keluarnya cairan hasil dari kondensasi uap menjadi cair. Katub ini tidak hanya mengeluarkan cairan terdapt juga asap yang keluar dari katub ini dikarenakan sebagian dari asap tidak terkondensasi didalam kondensor sehingga asap tidak mengembun.

### 2.4.5 Penampung asap cair

Penampung asap cair digunakan sebagai wadah untuk menampung hasil dari proses pirolisis. Biasanya penampung asap cair terbuat dari besi atau bahan plastik. Penampung asap cair yang digunakan pada alat ini adalah gelas ukur untuk mengukur banyaknya volume asap cair.

## 2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis

Faktor-faktor atau kondisi yang dapat mempengaruhi proses pirolisis dalam menentukan rendeman, arang yang dihasilkan serta banyaknya asap cair yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

### 1. Waktu Pirolisis

Waktu pirolisis berbeda-beda tergantung pada jenis-jenis dan jumlah bahan yang diolah. Misalnya: tempurung kelapa memerlukan waktu tiga jam, sekam padi kira-kira dua jam dan tempurung kemiri 1 jam.

### 2. Suhu Pirolisis

Suhu pirolisis yang berpengaruh terhadap hasil arang karena semakin tinggi suhu, arang yang diperoleh makin berkurang tapi hasil cairan dan gas semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh makin banyaknya zat-zat terurai dan yang teruapkan.

### 3. Ukuran Bahan Baku

Semakin kecil ukuran bahan, maka semakin cepat perataan panas keseluruhan umpan, sehingga proses karbonisasi berjalan sempurna (Uthari Nindya Putri, 2014)

## 2.6 Kandungan Asap Cair

Asap cair mengandung berbagai senyawa yang terbentuk karena terjadinya proses pirolisis dari tiga komponen kayu yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Diketahui pula bahwa temperatur pembuatan asap merupakan faktor yang paling menentukan kualitas asap yang dihasilkan. Kandungan maksimum senyawa-senyawa fenol, karbonil, dan asam dicapai pada temperatur pirolisis 600°C. Tetapi produk yang diberikan Asap cair yang dihasilkan pada temperature 400°C. Dinilai mempunyai kualitas organoleptik yang terbaik di bandingkan dengan asap cair yang dihasilkan pada temperatur pirolisis yang lebih tinggi. Senyawa-senyawa penyusun asap cair meliputi:

- 1) Senyawa-senyawa fenol merupakan senyawa yang berperan sebagai antioksidan sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk asapan. Kandungan senyawa fenol dalam asap sangat tergantung pada temperature pirolisis kayu. Kuantitas fenol pada kayu sangat bervariasi yaitu antara 10-200 mg/kg. Beberapa jenis fenol yang biasanya terdapat dalam produk asapan adalah guaiakol, dan siringol.
- 2) Senyawa-senyawa karbonil merupakan senyawa yang berperan pada pewarnaan dan citarasa produk asapan. Golongan senyawa ini mempunyai aroma seperti aroma karamel yang unik. Jenis senyawa karbonil yang terdapat dalam asap cair antara lain adalah vanilin dan siringaldehida.
- 3) Senyawa-senyawa asam merupakan senyawa yang berperan sebagai antibakteri dan membentuk cita rasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butirrat dan valerat.
- 4) Senyawa hidrokarbon polisiklis aromatis merupakan senyawa yang dapat terbentuk pada proses pirolisis kayu. Senyawa hidrokarbon aromatik seperti benzo a pirena merupakan senyawa yang memiliki pengaruh buruk karena bersifat karsinogen.
- 5) Senyawa benzo (a) pirena merupakan senyawa yang mempunyai titik didih  $310^{\circ}\text{C}$  dan dapat menyebabkan kanker kulit jika dioleskan langsung pada permukaan kulit (Uthari Nindya Putri, 2014)

## 2.7 Manfaat Asap Cair

Asap cair memiliki banyak manfaat dan telah digunakan pada berbagai industri, antara lain:

a. Industri pangan

Asap cair ini mempunyai kegunaan yang sangat besar sebagai pemberi rasa dan aroma yang spesifik juga sebagai pengawet karena sifat antimikrobia dan antioksidannya. Dengan tersedianya asap cair maka proses pengasapan tradisional dengan menggunakan asap secara langsung yang mengandung banyak kelemahan seperti pencemaran lingkungan, proses tidak dapat dikendalikan, kualitas yang tidak konsisten serta timbulnya bahaya kebakaran, yang semuanya tersebut dapat dihindari

b. Industri perkebunan

Asap cair dapat digunakan sebagai koagulan lateks dengan sifat fungsional asap cair seperti antijamur, antibakteri dan antioksidan tersebut dapat memperbaiki kualitas produk karet yang dihasilkan.

c. Industri kayu

Kayu yang diolesi dengan asap cair mempunyai ketahanan terhadap serangan rayap dari pada kayu yang tanpa diolesi asap cair (T. I. Sari et al, 2009).

## 2.8 Produk Hasil Proses Pirolisis

Pirolisis merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Reaksi pirolisis menghasilkan tiga produk yaitu:

- 1) Cairan yang didapat dari hasil pengembunan pada kondensor. Produk ini biasanya banyak di manfaatkan di industri pangan, industri kayu, dan pertanian.

- 2) Padatan atau arang yang di dapat dari proses pembakaran tidak sempurna pada tabung reaktor pirolisis. Produk ini biasa nya di dimanfaatkan sebagai bahan bakar dan bio arang atau briket.
- 3) Gas atau asap merupakan produk dari hasil proses pirolisis dimana sebagian asap tidak berubah menjadi cair pada kondensor dan asap tersebut terbang ke udara luar.

## 2.9 Laju Aliran Kalor

Panas atau kalor didefinisikan sebagai energi yang di transfer berdasarkan perbedaan suhu. Tipe dasar perpindahan panas adalah konduksi, radiasi dan konveksi (Rohsenow, et al, 1998). Perpindahan kalor adalah proses berpindahnya suatu energi atau panas dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur.

### 2.9.1 Konveksi

Perpindahan panas konveksi Secara mekanika fluida akan terjadi apabila ada aliran dan adanya gaya lawan yang diberikan kepada fluida oleh media yang dilaluinya. Fluida dapat mengalir disebabkan oleh adanya peristiwa pemanasan atau pendinginan selain itu bisa juga disebabkan oleh adanya induksi yang diberikan oleh pompa. Secara termodinamika, panas yang menaglr dapat berupa panas laten dan panas sensible (Pukoliwutang, et al, 2017). nilai kalor yang dipindahkan dapat dihitung menggunakan persamaan (5):

$$q = hA(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(5)$$

(Holman, 2010)



$q$  :laju aliran kalor konveksi (W)

$h$  :Koefisien perpindah panas konveksi ( $W/m^2K$ )

$A$  :Luas lintasan energi ( $m^2$ )

$T_s$  :Temperatur *surface* (K)

$T_\infty$  :Temperatur fluida (K)

Laju aliran kalor konveksi diklasifikasikan menjadi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas adalah perpindahan panas yang terjadi akibat aliran fluida bergerak dipengaruhi gravitasi tanpa pengaruh eksternal yang lain. Sedangkan konveksi paksa adalah proses pindah panas dimana fluida bergerak dengan disengaja dan diatur kecepatan dan debitnya. konveksi pada pipa dipengaruhi besarnya nilai koefisien perpindahan panas. Untuk mencari koefisien perpindahan panas dapat digunakan persamaan-persamaan dibawah ini:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots (6)$$

(Gabe, 2015)

$Re$  :Bilangan Reynold

$\rho$  :Densitas ( $kg/m^3$ )

$v$  :Kecepatan aliran (m/s)

$D$  :Diameter pipa pemanas air (m)

$\mu$  :Viskositas dinamik (kg/ms)

Debit aliran fluida merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran fluida, yaitu sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(7)$$

Q : debit ( $m^3/s$ )

V : volume ( $m^3$ )

t : waktu (s)

Kemudian dari persamaan kontinuitas akan didapat:

$$Q = A.v, \text{ dimana } A = \frac{1}{4}\pi D^2$$

maka kecepatan aliran dalam suatu penampang adalah

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(8)$$

(waspodo n.d, 2010)

v : kecepatan aliran (m/s)

Q : debit ( $m^3$ )

A : luas area ( $m^2$ )

Nilai bilangan prandtl berfungsi sebagai penghubung antara kecepatan dengan suhu pada perpindah panas, dan dapat ditentukan dengan persamaan (8):

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho C_p} = \frac{C_p \mu}{k} \dots\dots\dots(8)$$

Perhitungan tradisional untuk menghitung pindah panas secara konveksi dengan aliran turbulen di dalam pipa dapat digunakan dengan menggunakan persamaan (9):

$$Nu_d = 0,023Re^{0,8}Pr^n \dots\dots\dots(9)$$

(Gabe, 2015)

$Nu_d$  : Bilangan Nusselt

$Re$  : Bilangan Reynold

$Pr^n$  : Bilangan Prandtl

Persamaan diatas berlaku jika memenuhi ketentuan dibawah ini:

- 1) Semua nilai dari sifat panas fluida berdasarkan suhu rata-rata
- 2) Nilai  $n = 0.3$  jika fluida didinginkan, sedangkan nilai  $n = 0.4$  jika fluida dipanaskan.

Nilai koefisien laju aliran kalor konveksi dapat dihitung dengan persamaan (10):

$$h = k \left( \frac{Nu_d}{D} \right) \dots\dots\dots (10)$$

(Gabe, 2015)

$Nu_d$  : Bilangan Nusselt

$h$  : Koefisien laju aliran kalor konveksi ( $W/m^2K$ )

$k$  : Koduktivitas panas fluida ( $W/mK$ )

$D$  : Diameter pipa (m)

sifat-sifat fluida dievaluasi pada temperatur film ( $T_f$ ), dimana dimana untuk mencari temperatur film dapat di gunakan persamaan (11)

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \dots\dots\dots (11)$$

(Gabe, 2015)

Keterangan :

$T_f$  : temperatur film (K)

$T_s$  : temperatur surface (K)

$T_\infty$  : temperatur fluida (K)

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu pelaksanaan

Penelitian alat pirolisis asap cair dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Islam Riau. Penelitian ini memvariasikan tiga diameter pipa yang berbeda-beda pada kondensor yaitu 0,38 in, 0,5 in dan 0,63 in untuk mengetahui laju aliran kalor serta kuantitas volume asap cair masing-masing pipa kondensor pada alat pirolisis asap cair menggunakan limbah tempurung kelapa. Dalam penelitian alat pirolisis asap cair ini dilakukan tiga kali pengujian. Waktu yang di butuhkan dalam satu kali pengujian alat pirolisis asap cair ini adalah tiga jam.

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir adalah suatu gambaran utama yang dipergunakan untuk dasar-dasar dalam bertindak. Seperti halnya pada penelitian diperlukan suatu diagram alir yang bertujuan untuk mempermudah dalam pelaksanaan proses penelitian. Langkah-langkah dalam pengumpulan data penelitian, dapat digambarkan seperti diagram alir dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Studi Literatur

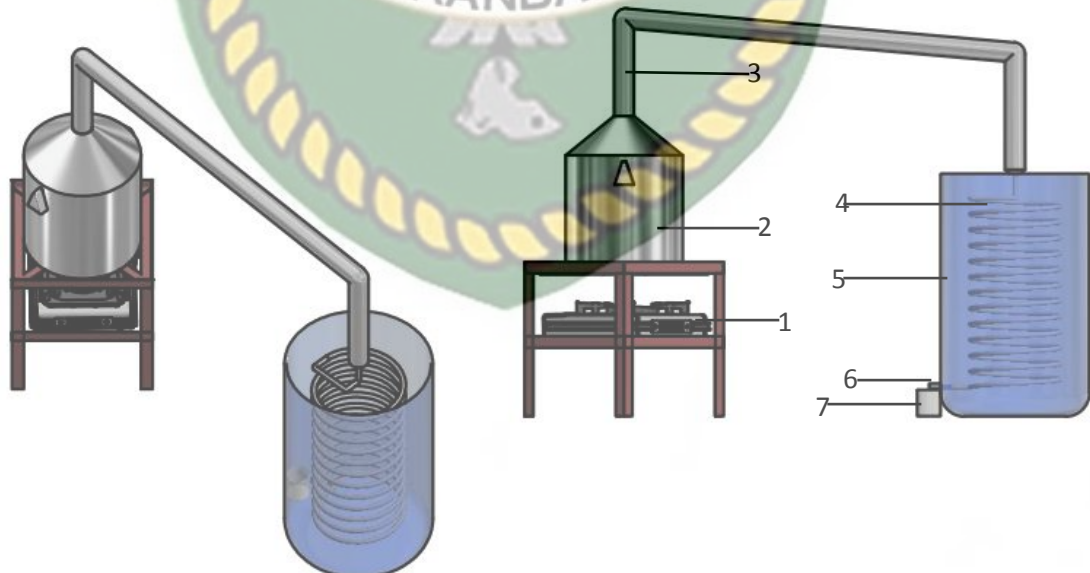
Studi literatur adalah cara yang dipakai untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian. Studi literatur bisa didapat dari berbagai sumber, jurnal, buku dan skripsi.

### 3.4 Alat Dan Bahan

Dalam penelitian pirolisis ini menggunakan beberapa peralatan dan bahan untuk mendukung proses pengujian, alat dan bahan tersebut adalah sebagai berikut:

#### 3.4.1 Alat

Dalam penelitian ini terdapat komponen-komponen utama pada pirolisis yaitu:



Gambar 3.2 Sketsa Alat Pirolisis

Seketsa gambar diatas merupakan rancangan alat yang akan dibuat.

Keterangan gambar diatas dapat dilihat dibawah ini:

1. Kompor atau pemanas

Pemanas yang digunakan adalah kompor gas yang berukuran sedang dengan satu tungku. Sedangkan Gas yang digunakan dalam percobaan ini adalah LPG 3 kg



**Gambar 3.3** Kompor atau Pemanas

2. Reaktor Pirolisis

Reaktor ini terbuat dari *stainless steel* yang berbentuk tabung dengan diameter 30 cm dan tinggi 40 cm. bagian penutup reaktor ini berbentuk kerucut yang pada bagian ujung raktor disambung pipa sebagai cerobongnya dengan tinggi 25 cm.



**Gambar 3.4** Reaktor

### 3. Pipa penyalur

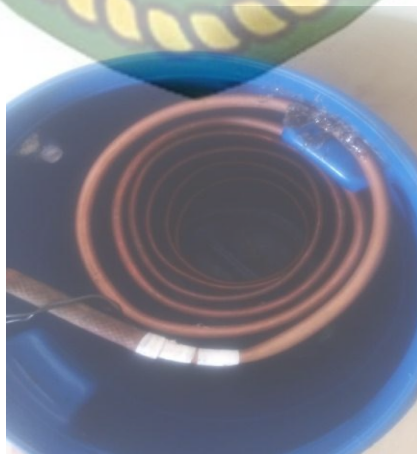
Pipa penyalur ini terbuat dari bahan *stainless steel* dengan panjang satu meter dan diameter dua in. Pipa penyalur dan reaktor di sambung menggunakan las agar kontruksi lebih kuat dan menghindari kebocoran asap saat proses berlangsung.



**Gambar 3.5** Pipa Penyalur

### 4. Pipa kondensor

Pipa kondensor yang digunakan pada alat pirolisis ini terbuat dari tembaga. Penelitian ini memvariasikan tiga diameter pipa yaitu 0.38 in, 0,5 in dan 0,63 in dengan panjang yang sama yaitu 4 meter. Pipa kondensor yang digunakan pada penelitian ini dibentuk spiral



**Gambar 3.6** Pipa Spiral



Keunggulan dan kelemahan bahan pipa tembaga adalah:

- a. Keunggulan pipa tembaga adalah nilai konduktivitas yang tinggi sebesar  $401 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ .
- b. Keunggulan pipa tembaga adalah lebih mudah untuk dibentuk spiral.
- c. Kerugian pipa tembaga adalah lebih mudah korosi dibandingkan *stainless steel*

5. Wadah kondensor

Wadah kondensor berbentuk tabung dengan ukuran tinggi 62 cm dan diameter 38 cm. Wadah ini adalah drum yang terbuat dari bahan plastic yang digunakan untuk menampung fluida sebagai media pendingin.



**Gambar 3.7** Tabung kondensor

6. Katup asap cair

Katup asap cair ini terbuat dari pipa tembaga yang tersambung langsung pada pipa kondensor dengan panjang 10 cm dan diameter 0,5 in.

## 7. Penampung Asap Cair

Penampung asap cair adalah wadah yang digunakan untuk menampung hasil proses pirolisis. Pada penelitian ini penampung asap cair yang digunakan adalah gelas ukur agar dapat diketahui berapa banyak volume asap cair dalam satu kali pengujian



**Gambar 3.8** penampung asap cair

Adapun alat-alat pendukung dalam penelitian pirolisis yaitu:

### 1. *Termocouple*

*Termocouple* pada penelitian digunakan untuk mengetahui temperatur reaktor maupun temperatur pada kondensor.

### 2. *Stopwatch*

Digunakan untuk mendapatkan batasan waktu dalam pengambilan data pada tiap jamnya.

### 3. Gelas ukur

Gelas ini digunakan untuk mengukur kuantitas suatu fluida cair. Untuk penelitian ini gelas ukur berfungsi sebagai pengukur hasil asap cair dari pirolisis agar hasil pengukuran akurat.

### 3.4.2 Bahan

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah tempurung kelapa yang sudah di perkecil ukurannya, di bersihkan serta di keringkan.

### 3.5 Perakitan Alat

Perakitan alat merupakan hal yang paling penting dalam keberhasilan penelitian ini. Adapun tahapan-tahapan perakitan alat adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan bahan-bahan seperti dandang nasi ukuran 5 kg, pipa *stainless steel* dengan diameter 2 in dan panjang 1 meter, pipa tembaga dengan panjang empat meter, drum air ukuran 60 liter, kompor atau pemanas dan besi siku.
2. Rakit reaktor dengan mengelas dandang nasi dan pipa *stainless steel* dengan tinggi cerobong 25 cm, dan panjang antara reaktor dan kondensor 150 cm.
3. Rakit besi siku sebagai tempat kompor dan reaktor.
4. Pada kondensor pipa tembaga dibuat spiral dengan diameter 24 cm, tinggi 55 cm.

### 3.6 Metode Pengujian

Metode yang digunakan pada pengujian ini yaitu metode eksperimen, dimana data yang diperoleh langsung dari alat yang digunakan tanpa menggunakan software. Pengujian ini menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan baku yang telah dibersihkan dan diperkecil ukurannya. Proses pirolisis pada pengujian ini berlangsung selama tiga jam. Diameter pipa kondensor yang digunakan yaitu 0,38 in, 0,5 in dan 0,63 in

Penelitian alat pirolisis ini dilakukan sebanyak tiga kali pengujian. Tiap pengujian memiliki suhu reaktor, massa bahan baku, serta waktu yang sama yaitu pada suhu reaktor 200-270°C, massa 2 kg dan waktu 3 jam. Adapun tahapan metode pengujian adalah sebagai berikut:

- a) Mempersiapkan bahan seperti membersihkan, mengeringkan dan menimbang berat bahan yang akan digunakan terlebih dahulu.
- b) Masukkan tempurung kelapa yang digunakan untuk membuat asap cair kedalam reaktor.
- c) Hidupkan kompor gas untuk memanaskan reaktor agar bahan yang di dalam akan terbakar sehingga menghasilkan asap.
- d) Catat nilai temperatur yang terdapat alat pengukur.
- e) Kemudian siapkan jam/stopwatch untuk menentukan lama pengujian dan batasan waktu dalam pengambilan data. Pengambilan data dilakukan pada selang waktu 30 menit.
- f) Amati gelas penampung cairan asap cair dan ukur berapa banyak hasil asap cair yang dihasilkan.

### **3.7 Pengolahan Data**

Setelah dilakukan tahapan-tahapan penelitian diatas, maka didapat beberapa parameter hasil pengujian pirolisis diantaranya:

1. Suhu fluida dalam kondensor
2. Suhu pada pipa kondensor
3. Serta kuantitas volume asap cair

Selain parameter diatas, terdapat juga beberapa parameter pendukung dalam melakukan perhitungan seperti, masa jenis, waktu dan diameter masing-masing pipa. Dari semua parameter yang didapat dari hasil pengujian langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan mensubtitusikan parameter tersebut kedalam persamaan-persamaan pada bab II.

Tabel 3.1 pengujian pertama diameter pipa 0,38 in

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)					Volume (ml)
		Pipa masuk	Pipa keluar	Air atas	Air bawah	Asap masuk	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
Total volume asap cair							

Tabel 3.2 pengujian kedua diameter pipa 0,5 in

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)					Volume (ml)
		Pipa masuk	Pipa keluar	Air atas	Air bawah	Asap masuk	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
Total volume asap cair							

Tabel 3.3 pengujian ketiga diameter pipa 0,63 in

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)					Volume (ml)
		Pipa masuk	Pipa keluar	Air atas	Air bawah	Asap masuk	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
Total volume asap cair							

Tabel 3.4 hasil perhitungan pengujian pertama diameter pipa 0,38 in

Waktu Menit	Pr	Re	Nu	$T_f$ °C	v m/s	h $W/m^2K$	q W
30							
60							
90							
120							
150							
180							

Tabel 3.5 hasil perhitungan pengujian kedua diameter pipa 0,5 in

Waktu Menit	Pr	Re	Nu	$T_f$ °C	v m/s	h $W/m^2K$	q W
30							
60							
90							
120							
150							
180							

Tabel 3.6 hasil perhitungan pengujian ketiga diameter pipa 0,63 in

Waktu Menit	Pr	Re	Nu	$T_f$ °C	v m/s	h $W/m^2K$	q W
30							
60							
90							
120							
150							
180							



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembahasan Pengujian Pertama

Proses pirolisis pada pengujian pertama ini menggunakan pipa tembaga pada kondensor dengan diameter 0.38 in dan Panjang 4 m. Pengujian pertama diperoleh data-data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan. Data-data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

**Tabel 4.1** data pengujian pertama diameter pipa 0,38 in

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)					Volume (ml)
		Pipa masuk	Pipa keluar	Air atas	Air bawah	Asap masuk	
1	30	44,6	30,7	34,1	27,3	87	66
2	60	45,0	30,7	35,7	27,3	87,9	100
3	90	33,9	30,9	32,4	27,3	78	36
4	120	32,4	31,1	30,9	27,3	73	6
5	150	32,0	31,3	30,3	27,4	57	0,75
6	180	31,9	31,7	30,2	27,4	52	0,25
Total volume asap cair							209

Data diatas merupakan data yang diperoleh dari proses pirolisis pengujian pertama. Pada tabel dapat dilihat semakin lama proses pirolisis volume yang dihasilkan semakin berkurang. Data-data tersebut berguna dalam menghitung laju perpindahan panas yang terjadi pada pipa kondensor pada alat pirolisis dengan diameter pipa 0,38 in.

#### 4.2 Pembahasan Pengujian kedua

Proses pirolisis pada pengujian kedua ini menggunakan pipa tembaga pada kondensor dengan diameter 0.5 in dan Panjang 4 m. Pada percobaan ini diperoleh data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan. Data tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



**Table 4.2** data pengujian kedua diameter pipa 0,5 in

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)					Volume (ml)
		Pipa masuk	Pipa keluar	Air atas	Air bawah	Asap masuk	
1	30	48,3	31,2	36,1	30,3	87	82
2	60	54,2	31,3	45,6	30,3	87,9	180
3	90	41,7	31,8	39,3	30,4	78	98
4	120	37,9	32,4	35,7	30,4	73	22
5	150	35,6	32,4	34,2	30,5	57	10
6	180	34,8	32,4	33,2	30,5	52	6
Total volume asap cair							398

Pada tabel diatas dapat dilihat semakin lama proses pirolisis volume yang dihasilkan semakin berkurang. Data tersebut berguna dalam menghitung laju perpindahan panas yang terjadi pada pipa kondensor dengan diameter pipa 0,5 in pada alat pirolisis.

### 4.3 Pembahasan pengujian ketiga

Proses pirolisis pada pengujian ketiga ini menggunakan pipa kondensor berdiameter 0.63 in yang terbuat dari tembaga dan Panjang 4 m. Pengujian ini di peroleh data-data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan. Data-data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

**Table 4.3** data pengujian ketiga diameter pipa 0,63 in

No	Waktu (menit)	Suhu (°C)					Volume (ml)
		Pipa in	Pipa out	Air on	Air under	Asap masuk	
1	30	41,0	30,8	32,3	29,1	87	84
2	60	42,4	31,0	37,1	29,1	87,9	134
3	90	37,3	31,4	34,8	29,1	78	74
4	120	34,9	31,8	32,9	29,2	73	22
5	150	33,7	32,1	31,8	29,2	57	10
6	180	32,2	32,9	30,1	29,3	52	4
Total volume asap cair							328

Data diatas merupakan data yang diperoleh dari proses pirolisis pengujian ketiga. Pada tabel dapat dilihat semakin lama proses pirolisis volume yang dihasilkan semakin berkurang. Data tersebut berguna dalam menghitung laju perpindahan panas yang terjadi pada pipa kondensor dengan diameter pipa 0,63 in.

#### 4.4 Perhitungan laju aliran kalor

Setelah diperoleh data-data seperti tabel diatas maka laju aliran kalor dapat dihitung. Dari data diatas menunjukkan suhu dan volume yang dihasilkan ketiga pipa berbeda-beda. Laju aliran kalor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada pada bab II. Nilai laju aliran kalor dari masing-masing pipa dapat kita lihat dibawah ini.

##### 4.4.1 Perhitungan pengujian pertaman

Pengujian berlangsung selama tiga jam. Perhitungan laju aliran kalor dilakukan selang waktu 30 menit. Laju alira kalor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut.

##### a. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran asap cair dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}v &= \frac{Q}{A} \\&= \frac{60 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / 1800 \text{ s}}{\frac{\pi}{4}(0,00953 \text{ m})^2} \\&= 5,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}\end{aligned}$$

### b. Temperatur film

Untuk menentukan nilai  $\rho, cp, k, \text{ dan } \mu$  diperlukan temperatur film.

Untuk mencari temperatur film dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

Temperatur surface merupakan temperatur rata-rata pipa yang dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

$T_1$ : temperatur pipa masuk

$T_2$  temperatur pipa keluar

Tempertur ini dapat dilihat pada tabel diatas

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{T_1 + T_2}{2} \\ &= \frac{(44,6 + 30,7)^\circ\text{C}}{2} \\ &= 37,6^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Temperature infiniti merupakan temperatur rata-rata pendingin atau fluida yang dapat dicari dengan rumus dibawah ini:

$T_3$ : temperatur air atas

$T_4$ : temperatur air bawah

Tempertur ini dapat dilihat pada tabel diatas

$$\begin{aligned} T_\infty &= \frac{T_3 + T_4}{2} \\ &= \frac{(34,1 + 27,3)^\circ\text{C}}{2} \\ &= 30,7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Sehingga temperatur film dapat dicari menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_s + T_\infty}{2} \\
 &= \frac{(37,6 + 30,7)^\circ\text{C}}{2} \\
 &= 34,1^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan temperatur film diatas maka nilai  $\rho$ ,  $C_p$ ,  $k$  &  $\mu$  dapat dilihat pada tabel 4.4 dengan menggunakan rumus interpolasi menggunakan suhu  $34,1^\circ\text{C}$

**Tabel 4.4** nilai sifat-sifat fluida pada temperatur  $34,1^\circ\text{C}$

Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific heat $C_p, \text{J/kg K}$	Thermal conductivity $k, \text{W/m K}$	Dynamic viscosity $\mu, \text{kg/m s}$
995,6	4178	0,616	$0,783 \times 10^{-3}$

**c. Bilangan Reynold**

Dalam menentukan bilangan Reynold pada proses pirolisis dapat digunakan persamaan dibawah ini

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho v D}{\mu} \\
 &= \frac{995,6 \text{ kg/m}^3 \cdot 5,1 \times 10^{-4} \text{ m/s} \cdot 0,0093 \text{ m}}{0,783 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}} \\
 &= 6,17 \quad (\text{aliran laminar})
 \end{aligned}$$

**d. Bilangan Prandtl**

Nilai bilangan *Prandtl* pada proses pirolisis ini dapat di tentukan dengan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} Pr &= \frac{C_p \mu}{k} \\ &= \frac{4178 \text{ J/kg K} \cdot 0,783 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}}{0,616 \text{ W/m K}} \\ &= 5,31 \end{aligned}$$

**e. Bilangan Nussult**

Nilai bilangan *Nussult* pada proses pirolisis ini dapat di tentukan dengan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} Nu_d &= 0,023 Re^{0,8} Pr^n \\ &= 0,023 \cdot (6,17)^{0,8} \cdot (5,31)^{0,3} \\ &= 0,162 \end{aligned}$$

**f. Nilai koefisien perpindahan panas**

Dari hasil perhitungan di atas maka nilai koefisien perpindahan panas adalah

$$\begin{aligned} h &= k \left( \frac{Nu_d}{D} \right) \\ &= 0,616 \text{ W/m K} \left( \frac{0,162}{0,00953 \text{ m}} \right) \\ &= 10,47 \text{ W/m}^2 \text{ K} \end{aligned}$$

**g. Laju aliran kalor**

Berdasarkan hukum newton tentang perpindahan panas maka laju aliran kalor secara konveksi dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini

$$q = hA(T_S - T_\infty)$$

$$= 10,47 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,12 \text{ m}^2 (310,75 - 303,85)\text{K}$$

$$= 8,62 \text{ W}$$

Dari persamaan-persamaan diatas di peroleh data-data pada tabel 4.5 dibawah ini

**Tabel 4.5** hasil perhitungan dari pengujian pertama diameter pipa 0,38 in

Waktu Menit	Pr	Re	Nu	$T_f$ °C	v m/s	h $\text{W/m}^2\text{K}$	q W
30	5,31	6,17	0,162	34,1	$5,1 \times 10^{-4}$	10,42	8,62
60	5,37	4,67	0,130	34,6	$3,9 \times 10^{-4}$	8,38	6,32
90	4,95	1,19	0,042	31,1	$9,3 \times 10^{-5}$	2,73	0,85
120	4,88	0,15	0,008	30,5	$1,16 \times 10^{-5}$	0,52	0,16
150	4,86	0,01	0,0009	30,3	$1,16 \times 10^{-6}$	0,06	0,02
180	4,86	0,004	0,0004	30,3	$3,2 \times 10^{-7}$	0,03	0,01

Tabel hasil diatas di dapat dengan menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan menghitung laju aliran kalor dalam waktu 30 menit pada pengujian pertama. Tabel diatas menjelaskan nilai-nilai bilangan Prandtl (Pr), bilangan Reynold (Re), bilangan Nusselt (Nu), kecepatan aliran (v), koefisien perpindahan panas (h) dan laju aliran kalor (q) terhadap waktu. Semakin lama proses pirolisis maka semakin kecil nilai yang di dapat.

#### 4.4.2 Perhitungan pengujian kedua

Untuk mendapatkan hasil perhitungan laju aliran kalor pada pengujian kedua ini dapat menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan laju aliran kalor pada waktu 30 menit pengujian pertama diatas. Maka di peroleh hasii pada tabel 4.6 dibawah ini

**Tabel 4.6** hasil perhitungan pada pengujian kedua diameter pipa 0,5 in

Waktu Menit	Pr	Re	Nu	$T_f$ °C	v m/s	h W/m.K	q W
30	4,42	6,62	0,16	36	$3,5 \times 10^{-4}$	7,9	7,58
60	3,94	8,17	0,19	40,4	$3,9 \times 10^{-4}$	9,51	6,98
90	4,41	2,65	0,078	35,9	$1,4 \times 10^{-4}$	3,86	1,10
120	5,31	0,38	0,017	34,1	$2,4 \times 10^{-5}$	0,82	0,23
150	5,08	0,14	0,007	33,2	$8,7 \times 10^{-6}$	0,34	0,08
180	5,15	0,07	0,004	32,8	$4,3 \times 10^{-6}$	0,19	0,04

Tabel diatas menunjukkan nilai laju aliran kalor semakin kecil seiring lamanya proses pirolisis. Tabel ini menjelaskan pengaruh waktu terhadap hasil yang didapat seperti bilangan Prandtl (Pr), bilangan Reynold (Re), bilangan Nusselt (Nu), kecepatan aliran (v), koefisien perpindahan panas (h) dan laju aliran kalor (q). tabel diatas menjelaskan semakin lama proses pirolisis maka semakin kecil nilai yang di dapat.

#### 4.4.3 Perhitungan pengujian ketiga

Untuk mendapatkan hasil perhitungan pada pengujian ketiga ini dapat menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan sebelumnya. Hasil yang di peroleh ini sangat dibutuhkan dalam menentukan perbandingan laju aliran kalor dengan diameter pipa yang berbeda-beda. Dari persamaan-persamaan tersebut maka diperoleh tabel hasil pengujian ketiga seperti pada tabel 4.7 di bawah ini

**Tabel 4.7** hasil perhitungan pada pengujian ketiga diameter pipa 0,63 in

Waktu Menit	Pr	Re	Nu	$T_f$ °C	v m/s	h W/m.K	q W
30	5,22	4,79	0,132	33,3	$2,32 \times 10^{-4}$	5,09	5,29
60	5,40	3,70	0,108	34,9	$1,85 \times 10^{-4}$	4,15	2,98
90	5,08	1,43	0,049	33,2	$6,81 \times 10^{-5}$	1,89	0,90
120	5,09	0,31	0,014	32,3	$1,51 \times 10^{-5}$	0,54	0,24
150	5,06	0,11	0,006	32	$5,5 \times 10^{-6}$	0,23	0,08
180	4,96	0,03	0,002	31,2	$1,84 \times 10^{-6}$	0,07	0,04

Tabel perhitungan di atas menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan menghitung laju aliran kalor dalam waktu 30 menit pada percobaan pertama. Hasil dari persamaan-persamaan laju aliran kalor maka didapatkan nilai-nilai seperti bilangan Prandtl (Pr), bilangan Reynold (Re), bilangan Nusselt (Nu), kecepatan aliran (v), koefisien perpindahan panas (h) dan laju aliran kalor (q).

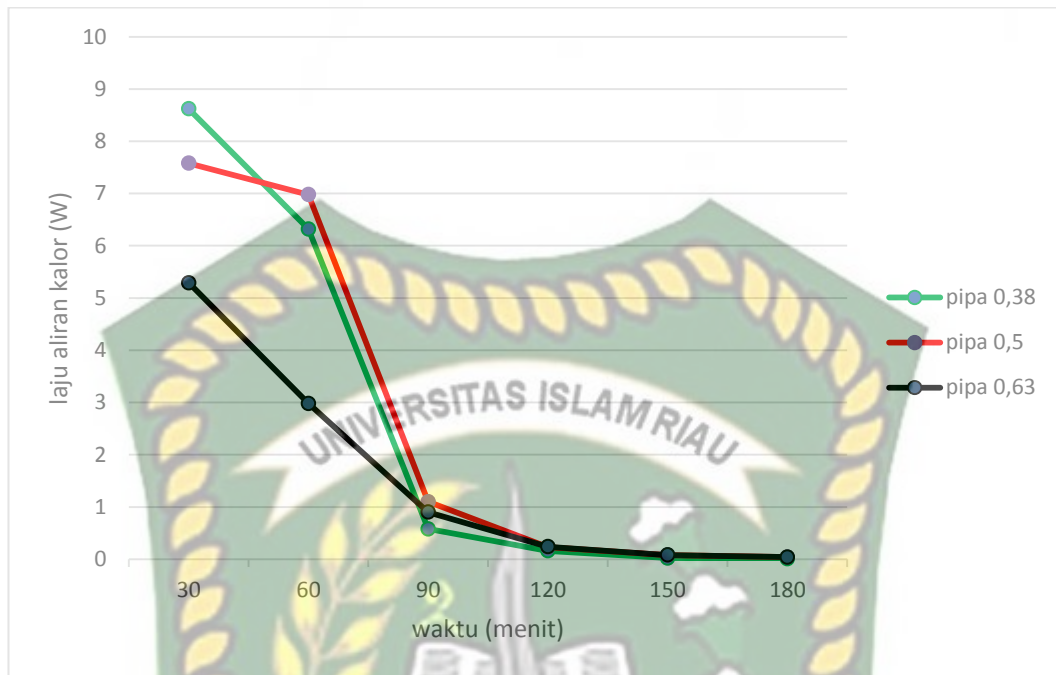
#### 4.5 Analisa data

Hasil pengujian yang telah diperoleh menjadi hasil perhitungan yang kemudian dianalisa setiap peristiwa-peristiwa yang terjadi pada proses pirolisis. Analisa tersebut dijelaskan dalam bentuk grafik seperti gambar dibawah ini.

##### 4.5.1 Analisa laju aliran kalor

Analisa laju aliran kalor konveksi dalam proses pirolisis pada pengujian pertama, kedua dan ketiga dapat dilihat pada grafik, seperti pada gambar dibawah ini:





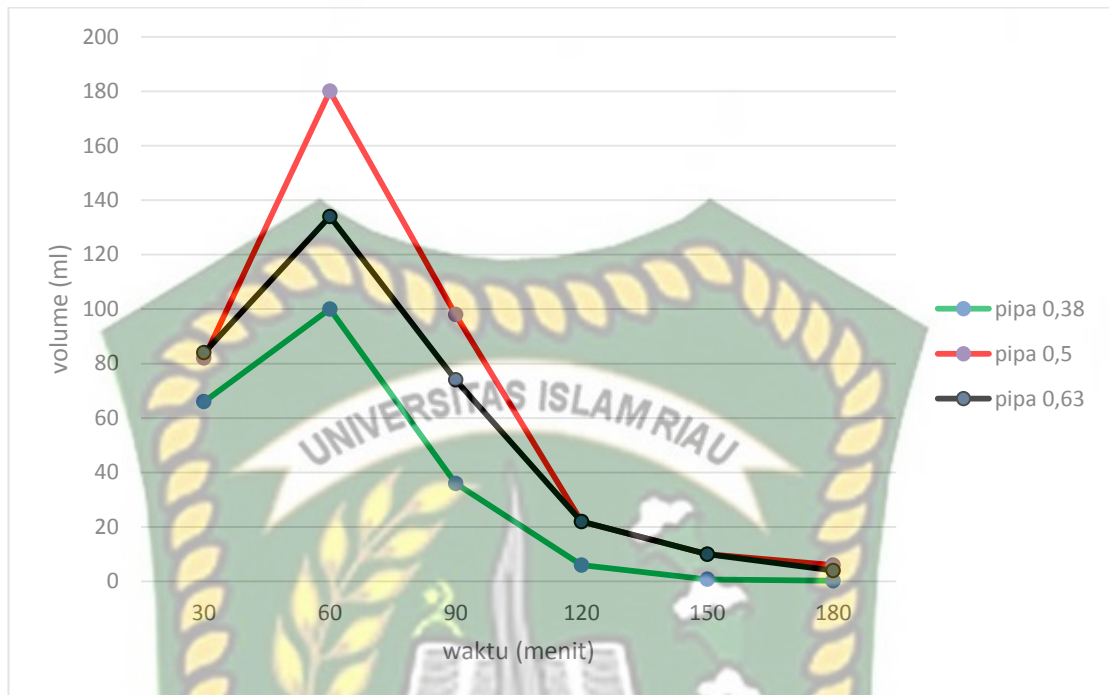
**Gambar 4.1** grafik laju aliran kalor

Gambar 4.1 menjelaskan nilai laju aliran kalor ketiga pipa terhadap waktu. Pada grafik terlihat laju aliran kalor terus menurun seiring lamanya proses pirolisis. Grafik menunjukkan setelah waktu 60 menit laju aliran kalor menurun drastis, hal ini disebabkan kuantitas asap yang masuk ke dalam pipa kondensor semakin lama semakin berkurang sehingga asap yang terkondensasi juga berkurang yang menyebabkan penurunan laju aliran kalor pada pipa kondensor. Pengujian pertama dalam waktu 30 menit dengan pipa berdiameter 0,38 in memiliki nilai laju aliran kalor tertinggi yaitu sebesar 8,62 W dan nilai laju aliran kalor terendah terjadi pada pipa berdiameter 0,63 in yaitu sebesar 5,29 W. Hal ini disebabkan asap yang masuk pada pipa kecil menyentuh dinding-dinding pipa sehingga terjadi perpindahan panas yang tinggi sedangkan pada pipa berdiameter 0,63 in asap yang masuk hanya sebagian yang menyentuh dinding-dinding pipa

sehingga tidak semua asap dapat terkondensasi dan keluar ke udara luar. Pengujian dengan waktu 60 menit mengalami perubahan dimana pipa berdiameter 0,5 in memiliki nilai laju aliran kalor tertinggi yaitu sebesar 6,98 W dan nilai laju aliran kalor terendah tetap terjadi pada pipa berdiameter 0,63 in yaitu sebesar 2,98 W. hal ini disebabkan kuantitas asap yang masuk pada pipa berdiameter 0,5 in lebih besar dibandingkan dengan pipa berdiameter 0,38 in dan kuantitas asap yang terkondensasi lebih besar di bandingkan pipa berdiameter 0,63 in. Nilai laju aliran kalor tertinggi pada pengujian selanjutnya tetap didominasi pipa kondensor berdiameter 0,5 in hingga pengujian selesai. Pengujian pada waktu 120 menit hingga 180 menit nilai laju aliran kalor ketiga pipa memiliki nilai laju aliran kalor yang hampir sama, hal ini disebabkan bahan baku didalam reaktor mulai mengarang seluruhnya sehingga kuantitas asap yang masuk ke dalam pipa kondensor mulai menurun dan menyebabkan nilai laju aliran kalor ketiga pipa juga menurun. Semakin besar laju aliran kalor yang terjadi pada pipa kondensor sebanding dengan jumlah volume asap cair yang di peroleh.

#### **4.5.2 Analisa volume asap cair**

Adapun hasil volume asap cair pada percobaan pertama, kedua, dan ketiga dapat dilihat pada grafik, seperti pada gambar dibawah ini:



**Gambar 4.2** grafik volume asap cair

Gambar 4.2 menjelaskan kuantitas volume asap cair dari ketiga pipa terhadap waktu. Pada grafik terlihat volume asap cair ketiga pipa meningkat pada waktu 60 menit, hal ini disebabkan kuantitas asap cair yang masuk ke pipa kondensor meningkat sehingga volume asap cair yang dihasilkan ikut meningkat. Dari gambar juga terlihat setelah waktu 60 menit volume asap cair ke tiga pipa kondensor mulai menurun drastis hingga pengujian selesai. Hal ini disebabkan kuantitas asap yang masuk dan laju aliran kalor menurun yang menyebabkan volume asap cair ikut menurun. Dari gambar diatas dapat dilihat pengujian pada waktu 30 menit dengan kuantitas volume asap cair tertinggi terjadi pada pipa berdiameter 0,63 dan 0,5 in yaitu sebesar 84 ml dan 82 ml dan kuantitas volume asap cair terendah adalah 66 ml pada pipa berdiameter 0,38 in. Hal ini disebabkan

kuantitas asap cair yang masuk ke dalam pipa kondensor dengan diameter 0,63 in dan 0,5 in lebih besar di bandingkan pipa kondensor berdiameter 0,38 in. Pengujian dengan waktu 60 menit mengalami perubahan dimana pipa kondensor dengan diameter 0,5 in memiliki volume asap cair lebih besar dibandingkan pipa lainnya yaitu 180 ml. Hal ini di karenakan nilai laju aliran kalor yang lebih tinggi dan asap yang terkondensasi lebih besar dibandingkan dengan pipa berdiameter 0,63 in. Kuantitas asap yang masuk ke dalam pipa kondensor dengan diameter 0,5 in lebih besar dibandingkan pipa berdiameter 0,36 in, sehingga volume asap cair yang dihasilkan lebih tinggi dari pipa yang lain. Gambar diatas juga menjelaskan dari awal penelitian hingga selesai, volume asap cair terbesar di dominasi pipa kondensor dengan diameter 0,5 in. selain diameter pipa, nilai laju aliran kalor juga berpengaruh dalam menentukan kuantitas volume asap cair. Untuk mengoptimalkan produksi asap cair, panjang pipa dan luas penampang pipa sangat mempengaruhi kuantitas asap cair. Penelitian sebelumnya yaitu (Nurkholis and Jamilatun, 2018) memvariasikan jumlah pipa dalam meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan meningkatkan volume asap cair dari proses pirolisis. pengujian pertama dengan massa tempurung kelapa 10 kg dan kondensor 4 pipa dapat menghasilkan asap cair sebesar 183 ml. pengujian selanjutnya dengan massa tempurung kelapa 10 kg dan kondensor 8 pipa dapat menghasilkan asap cair sebesar 205 ml. dapat disimpulkan pipa kondensor yang optimal dalam menghasilkan asap cair adalah kondensor 8 pipa.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan tiga diameter pipa yang berbeda-beda yaitu 0,38 in, 0,5 in dan 0,63 in dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuantitas volume asap cair pada proses pirolisis paling besar terjadi pada pengujian kedua menggunakan pipa berdiameter 0,5 in yaitu sebesar 398 ml.
2. Nilai laju aliran kalor total tertinggi pada proses kondensasi yaitu sebesar 16,01 W dengan pipa berdiameter 0,5 in.
3. Volume asap cair dan laju aliran kalor ketiga pipa kondensor meningkat pada waktu 60 menit dan setelah itu menurun drastis
4. Kuantitas volume asap cair pada proses pirolisis paling kecil terjadi pada pengujian pertama menggunakan pipa berdiameter 0,38 in yaitu sebesar 209 ml.
5. Nilai laju aliran kalor total terkecil pada proses pirolisis yaitu sebesar 9,5 W pada pengujian ketiga dengan pipa berdiameter 0,63 in
6. Besarnya nilai laju aliran kalor dan diameter pipa mempengaruhi besarnya volume asap cair yang dihasilkan.

#### 5.2 Saran

Sebaiknya dalam melakukan penelitian untuk mengoptimalkan volume asap cair panjang serta diameter pipa sangat berpengaruh dalam proses pendinginan pada alat pirolisis asap cair untuk memperoleh volume asap cair yang tinggi. Dalam perancangan kondensor perlu diperhatikan lilitan pipa kondensor dalam melakukan pengujian agar pengujian yang dilakukan berjalan lancar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A, and Afshin J Ghajar. 2015. *HEAT AND MASS TRANSFER; Fundamentals & Applications*. Fifth edit. eds. Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar. New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Gabe, Febri Aditya Pratama Arista. 2015. "Analisa Termal Pada Rancang Bangun Reaktor Pirolisis Untuk Memproduksi Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Plastik." *Teknik Mesin Dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Bogor*.
- Holman, Jack P. 2010. *Heat Transfer*. tenth edit. ed. Jack P. Holman. New York, USA: McGraw-Hill Education.  
[http://dl.iranidata.com/book/daneshgahi/%5BJack\\_P.\\_Holman%5D\\_Heat\\_Transfer,\\_Tenth\\_Edition\\_\(www.IraniData.com\).pdf](http://dl.iranidata.com/book/daneshgahi/%5BJack_P._Holman%5D_Heat_Transfer,_Tenth_Edition_(www.IraniData.com).pdf).
- M. Yunus. 2011. "TEKNOLOGI PEMBUATAN ASAP CAIR DARI TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI PENGAWET MAKANAN." *Jurnal Sains dan Inovasi* 7(1): 53–61.
- Muhammad Machrush Cania Putra. 2015. "Perencanaan Bisnis Asap Cair Tempurung Kelapa Melalui Pendekatan Wirakoperasi Di Kabupaten Bogor." *FAKULTAS EKONOMI DAN MANAJEMEN INSTITUT PERTANIAN BOGOR* *FAKULTAS EKONOMI DAN MANAJEMEN INSTITUT PERTANIAN BOGOR*.
- Nurfadilla, Indah Ratu. 2018. "Pembuatan Dan Pengujian Reaktor Pirolisis Untuk Menghasilkan Asap Cair Dengan Bahan Baku Tempurung Kelapa Dan Tongkol Jagung." *Politeknik Negeri Bandung*.

- Nurkholis, and Siti Jamilatun. 2018. "Pengaruh Luas Perpindahan Panas Kondensor Terhadap Volume Asap Cair Terkondensasi Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa." *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia* 3(2): 61.
- Nuryati, Jaka Darma Jaya, and Meldayanoor. 2015. "Perancangan Dan Aplikasi Alat Pirolisis Untuk Pembuatan Asap Cair." *TEKNOLOGI AGRO-INDUSTRI* 2(1).
- Pukoliwutang, Rein, Sherwin R U A Sompie, and Elia Kendek Allo. 2017. "Pengaturan Pendinginan Pada Kondensor Untuk Alat Destilasi Asap Cair." *Pteknik Elektro Dan Komputer* 6(1): 27–34.
- Rohsenow, Warren M, James R Hartnett, and Young I Cho. 1998. 1 *HANDBOOK OF HEAT TRANSFER*. eds. Warren M Rohsenow, James R Hartnett, and Young I Cho. New York, USA: McGraw-Hill.
- Sari, Rodiah Nurbaya, Bagus Sediadi Bandol Utomo, and Bakti Berlyanto Sedayu. 2007. "Uji Coba Alat Penghasil Asap Cair Skala Laboratorium Dengan Bahan Pengasap Serbuk Gergaji Kayu Jati Sabrang Atau Sungkai (*Peronema Canescens*)." *Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan* 2(1): 27.
- Sari, Tuti Indah, Rista Utami Dewi, and Hengky. 2009. "PEMBUATAN ASAP CAIR DARI LIMBAH SERBUK GERGAJIAN KAYU MERANTI SEBAGAI PENGHILANG BAU LATEKS." *Jurnal Teknik Kimia* 16(1): 31–37.

Slamet, Sugeng, and Taufiq Hidayat. 2017. "Studi Eksperimen Pemilihan Biomassa Untuk Memproduksi Gas Asap Cair ( Liquid Smoke Gases ) Sebagai Bahan Pengawet." *Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer* 6(1): 189.

Uthari Nindya Putri. 2014. "RANCANG BANGUN ALAT PIROLISIS (Kajian Pengaruh Laju Alir Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal Alat Pirolisis Dengan Bahan Baku Tempurung Kelapa)." *Politeknik negeri sriwijaya palembang*.

waspodo. "Analisa Head Loss Sistem Jaringan Pipa Pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda." *Program studi teknik Mesin fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah: 1–12*.

Yuliyani, Ika, and Sapto Prayogo. 2013. "Rancang Bangun Alat Pirolisis Sederhana Dengan Redestilator Untuk Pembuatan Asap Cair Dari Tempurung Kelapa." *Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung: 286–89*.