

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS KONDENSOR PADA ALAT  
PENYULINGAN MINYAK ATSIRI KAPASITAS  
5 KILOGRAM**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**DIMAS PRIBADI**  
**1607230099**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Penelitian Tugas Akhir ini di ajukan oleh:

Nama : Dimas Pribadi  
NPM : 1607230099  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Kondensor Pada Alat  
Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kilogram  
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan di terima sebagai penelitian tugas akhir utnuk memperoleh gelar sarjana teknik pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



Chandra A Siregar,S.T.,M.T

Dosen Penguji



M. Yani, S.T.,M.T

Dosen Penguji



H. Muharnif,S.T.,M.Sc

Program Studi Teknik Mesin



Chandra A Siregar,S.T.,M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Dimas Pribadi  
Tempat /Tanggal Lahir : Pangkalan Batu, 16 Januari 1998  
NPM : 1607230099  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisis Perpindahan Panas Kondensor Pada Alat Penyulingan Minyak  
Atsiri Kapasitas 5 Kilogram”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, september 2021

Saya yang menyatakan,



Dimas Pribadi

## ABSTRAK

Kondensor merupakan salah satu jenis heat exchanger yang berfungsi mengkondensasikan fluida gas menjadi cair. Dibutuhkan material tube yang kuat dan dapat melakukan perpindahan panas yang baik agar tidak terjadi penurunan laju perpindahan panas di dalam kondensor. Jika laju perpindahan panas rendah, mengakibatkan kerja netto akan semakin meningkat. Mengetahui peran kondensor sangat penting dalam suatu siklus, maka perlu dilakukan analisis perpindahan panas kondensor Pada Penyulingan Minyak Atsiri. Kondensor Pada alat penyulingan adalah kondensor yang telah di perbarui dengan material stainless steel. Stainless steel memiliki kekuatan material yang lebih kuat dibandingkan drum bekas material sebelumnya, sehingga kebocoran pada tube dapat dikurangi dan ketahanan penggunaan dengan menggunakan material stainless steel. Data yang diambil dari tugas akhir ini adalah data rata-rata aktual selama 1 bulan, yaitu bulan Juni. Metode perhitungan untuk menghitung laju perpindahan panas  $0,010388093 \text{ W/}^\circ\text{C}$  dan efektivitas adalah Effectiveness – Number of Transfer Unit (NTU). Dari hasil perhitungan, dengan data debit aliran fluida sebesar  $6,299625468 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  diketahui bahwa kecepatan aliran fluida sebesar  $0,0153736 \text{ m/s}$  dengan efektivitas sebesar  $0,185404$ . Laju perpindahan panas pada kondensor dipengaruhi oleh kondisi kevakuman kondensor. Semakin tinggi kevakuman kondensor maka steam semakin mudah menuju kondensor, sehingga meningkatkan performa dari kondensor.

Kata Kunci : Kondensor,Minyak atsiri,Nilai efektifitas

## **ABSTRACT**

*A condenser is a type of heat exchanger that functions to condense a gaseous fluid into a liquid. It takes a tube material that is strong and can carry out good heat transfer so that there is no decrease in the rate of heat transfer in the condenser. If the heat transfer rate is low, the net work will increase. Knowing the role of the condenser is very important in a cycle, it is necessary to analyze the heat transfer of the condenser in Essential Oil Refining. Condenser In the distillery is a condenser that has been updated with stainless steel material. Stainless steel has a stronger material strength than the previous used drum material, so that leakage in the tube can be reduced and resistance to use by using stainless steel material. The data taken from this final project is the actual average data for 1 month, namely June. The calculation method to calculate heat transfer rate  $0,010388093 \text{ W/}^\circ\text{C}$  and effectiveness is Effectiveness – Number of Transfer Unit (NTU). From the calculation results, with a vacuum data of  $6,299625468 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s bar}$  in June it is known that the heat transfer rate is  $0,0153736 \text{ m/s}$  with an effectiveness of  $0,185404$ . The rate of heat transfer in the condenser is influenced by the condition of the condenser vacuum. The higher the condenser vacuum, the easier it is for steam to enter the condenser, thereby increasing the performance of the condenser.*

*Keywords: Condenser, Essential Oil, Effectiveness Value*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhana wa Ta'ala, karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini. Adapun proposal ini disusun untuk melengkapi syarat untuk menyelesaikan pendidikan S1 program studi teknik mesin Fakultas Teknik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kata sempurna dalam hal isi maupun pemakaian bahasa, sehingga penulis memohon kritikan yang membangun untuk penulisan selanjutnya.

Dengan pengetahuan dan pengalaman yang terbatas akhirnya penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir yang berjudul : **“Analisis Perpindahan Panas Kondensor Pada Alat Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kilogram”**.

Dalam menyelesaikan proposal ini mulai dari proses awal sampai proses akhir penyelesaian, penulis telah banyak menerima bantuan bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak, sehingga proposal ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan Kesehatan kepada penulis.
2. Teristimewa Almarhum Syaiful Azhar, dan Ibunda Jamilah selaku orang tua yang selama ini telah banyak memberikan dorongan moril, materi serta do'a dan kasih sayangnya kepada penulis.
3. Bapak Dr. Agussani, M.AP, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

6. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak M.Yani, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Bapak H.Muharnif S.T.M.,Sc selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Sahabat-sahabat penulis: Chairul Arip Rauter, Ahmad Aji Syahbana, M. Azan Rosandi, Graha Pakar Wijaya, Andri Mustafa, Gianto, Abdika Butar-Butar, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proposal tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan kelemahan dalam segi isi tata Bahasa penulisan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran yang berguna dan membangun untuk kelengkapan laporan proposal tugas akhir ini.

*Aamiin ya Rabbal'alamin.*

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Medan, Januari 2021  
Penulis

**DIMAS PRIBADI**  
**1607230099**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>SURAT KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. Proses Produksi Konvensional Penyulingan	4
2.2. Daun Nilam	5
2.3. Ketel	7
2.3.1. Stainless steel	8
2.3.2. Bentuk Alur Penyulingan	9
2.3.3. Siklus Bak Air	9
2.4. Tekanan	10
2.4.1 Penyulingan Dengan Uap dan Air	10
2.5.Heat Exchanger (HE)	12
2.5.1. Klasifikasi heat exchanger	13
2.5.2. Cross flow (aliran berlawanan)	14
2.6.Parameter Kualitas Minyak Atsiri	16
2.7.Perpindahan Panas	18
2.7.1. Proses Perpindahan Panas	18
2.7.2. Perhitungan Perpindahan Panas	18
2.7.3. Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida dalam pipa	19
2.7.4. Kondensor	20
2.7.5. Konduksi	21
2.7.6. Temperatur Dinding Pipa	21
2.7.7. HE dan NTU (Jumlah Satuan Perpindahan Panas)	22
2.7.8. Nilai Efektivitas	23
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>24</b>
3.1. Tempat dan Waktu	24
3.1.1. Tempat Penelitian	24
3.1.2. Waktu Penlitian	24
3.2. Alat dan Bahan	24
3.2.1. Alat Penelitian	24

3.2.2. Bahan Penelitian	26
3.3. Bagan Alir Penelitian	29
3.4. Sketsa Kondensor Penyulingan	30
3.5. Prosedur Penelitian	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>36</b>
4.1. Data Spesifikasi & Aktual Pada Kondensor	36
4.2. Perhitungan Debit Aliran Fluida-Kecepatan Aliran	38
4.3. Aliran Pipa Air	39
4.4. Aliran Pipa Uap Air	40
4.5. Perhitungan Dinding Pipa	41
4.6. Perhitungan Heat Capacity	42
4.7. Perhitungan koefisien perpindahan panas total	43
4.7. Menghitung laju Perpindahan Kalor	44
4.8 Perhitungan NTU	45
4.9 Perhitungan Nilai Efektivitas	45
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>46</b>
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	35
Tabel 4.1 Data Spesifikasi dan Data Aktual Pada Kondensor	36
Tabel 4.2 Sifat-sifat Air (Zat –cair Jenuh)	37
Tabel 4.3 Sifat-sifat Gas pada tekanan Atmosfer ( <i>lanjutan</i> )	38

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Penyulingan Tradisional	5
Gambar 2.2 Daun Nilam	6
Gambar 2.3 Ketel Stainless Steel	8
Gambar 2.4 Pipa Alur Spiral	9
Gambar 2.5 Siklus Bak Air	10
Gambar 2.6 Penyulingan Uap dan Air	11
Gambar 2.7 Distribusi Temperatur Dinding Pipa	18
Gambar 2.8 Cross Flow (Aliran Berlawananann)	21
Gambar 2.9 Arah aliran fluida didalam APK Pipa	22
Gambar 3.1 Thermometer 4 channel	24
Gambar 3.2 Stopwatch	24
Gambar 3.3 Timbangan	25
Gambar 3.4 gelas ukur 250 ml	25
Gambar 3.5 daun nilam	26
Gambar 3.6 Air	26
Gambar 3.7 gas LPG 3 kg	27
Gambar 3.8 Bagan Alur Penelitian	28
Gambar 3.11. Sketsa Kondensor	29
Gambar 3.12 Proses Penyincangan Daun Nilam	30
Gambar 3.13 Penjemuran Daun Nilam	30
Gambar 3.14 Pengisian air pada ketel	31
Gambar 3.15 Pengisian air kondensor	31
Gambar 3.16 Memasang saringan	32
Gambar 3.17 Proses penyulingan daun nilam	32
Gambar 3.18 Penghitungan waktu	33
Gambar 3.19 pemasangan 4 titik thermocouple	33
Gambar 3.20 Hasil minyak nilam	34

## DAFTAR NOTASI

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
T	Tebal material ketel	mm
Di	Diameter luar	mm
Do	Diameter dalam	mm
T1	Temperatur awal uap masuk	°C
T2	Temperatur akhir uap keluar	°C
T3	Temperatur akhir air masuk	°C
T4	Temperatur akhir air keluar	°C
q	Laju perpindahan kalor	kJ
ri	Jari-jari bagian luar	m
ro	Jari-jari bagian dalam	m
L	Panjang pipa	m
Ui	Koefisien Perpindahan Panas Total	W/m <sup>2</sup> .°C
k	Konduktivitas termal	W/m.°C
Cr	Rasio antara Cmax Dan Cmin	
Cmax	Laju Kapasitas Perpindahan Panas Maks	W/K
Cmin	Laju Kapasitas Perpindahan Panas Minimal	W/K
A	Luas Perpindahan Panas	m <sup>2</sup>
Ts	Temperatur dinding pipa	°C
Tsat	Temperatur Uap Buang pipa	°C
Tc	Temperatur Air Pendingin	°C
ho	Koefisien aliran pipa air	W/m <sup>2</sup> .°C
hi	Koefisien aliran pipa uap air	W/m <sup>2</sup> . °C
Q	Debit aliran fluida	m <sup>3</sup> /s
V	volume fluida yang mengalir	m <sup>3</sup>
t	waktu	detik, s
m	kecepatan aliran pada pipa	(m/s)
NTU	Jumlah Satuan Perpindahan Panas	
ε	Nilai efektivitas	

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia berpotensi dalam pengolahan minyak atsiri. Potensi tersebut dapat dilihat dari peningkatan perdagangan internasional. Ekspor komoditi minyak atsiri Indonesia ke pasaran internasional mengalami peningkatan. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan nilai ekspor minyak atsiri dari Indonesia pada tahun 2009 mencapai seratus juta dolar dan tahun 2011 sebesar 135 juta dolar. Terbukanya pasar internasional memberikan peluang mengembangkan produksi minyak atsiri di Indonesia (Deptan, 2012).

Minyak nilam merupakan salah satu komoditas industri minyak atsiri yang sangat potensial dikembangkan di Indonesia. Minyak nilam dihasilkan dari proses penyulingan daun dan batang tanaman nilam (*Pogostemon Cablin Benth*). Kadar minyak tertinggi terdapat pada daun dengan komponen utama penyusun minyak nilam ialah patchouli alcohol dan sebagian kecil norpatchoulenol. Kedua komponen tersebut memberi aneka bau khas minyak nilam (Alam, 2007).

Menurut Tan (1962), penyulingan minyak atsiri untuk jenis tanaman semak dan daun sebaiknya dilakukan dengan metode penyulingan uap dan air (water and steam distillation). Cara penyulingan dengan metode uap dan air merupakan penyulingan dengan tekanan uap rendah pada tekanan 1 atmosfer yang tidak menghasilkan uap dengan cepat sehingga panjangnya waktu penyulingan minyak atsiri menjadi hal yang sangat penting. Semakin panjang waktu penyulingan yang dibutuhkan jika ditinjau dari mutu dan rendemen minyak yang dihasilkan adalah hal yang baik.

Adapun kelemahan dari metode ini yaitu tekanan uap yang dihasilkan relatif rendah sehingga belum bisa menghasilkan minyak atsiri dengan waktu yang cepat. Untuk menghasilkan rendemen minyak atsiri yang tinggi serta tingkat persentase patchouli alcohol yang tinggi diperlukan waktu cukup panjang, yaitu 6-8 jam per sekali suling (Hayani, 2005).

Menurut Ketaren (1985), peralatan yang biasanya digunakan dalam penyulingan minyak atsiri terdiri atas: ketel uap, ketel suling, bak pendingin (kondensor) dan labu pemisah minyak (Florentine flask). Sedangkan pada metode penyulingan dengan sistem uap dan air tidak menggunakan ketel uap. Peralatan-peralatan inilah yang menjadi salah satu faktor penentu rendemen minyak atsiri yang dihasilkan.

Lamanya proses penyulingan akan memengaruhi konsumsi bahan bakar dan jumlah kalor yang harus diserap oleh kondensor. Sehingga jumlah media penukar kalor yang digunakan oleh kondensor akan semakin besar tergantung kepada lamanya proses penyulingan. Banyaknya kalor yang diserap oleh kondensor akan menentukan tingginya suhu air pendingin kondensor. Kenaikan suhu air pendingin kondensor akan memengaruhi laju kondensasi bahan.

Menurut Bernasconi et al dalam Fatahna (2005), perpindahan kalor yang baik pada alat-alat penukar kalor dapat dicapai dengan mengatur perbedaan suhu yang besar antara uap air dan media pendingin, laju alir yang tinggi dari uap air dan media pendingin, permukaan penukar kalor yang bersih dan luas permukaan perpindahan kalor yang besar serta dinding yang tipis.

Perbedaan suhu yang besar harus dipertahankan untuk mempercepat laju penyerapan kalor. Laju penyerapan kalor yang tinggi diharapkan dapat mempercepat proses penyulingan sehingga laju kondensasi semakin tinggi. Untuk menjaga perbedaan suhu yang besar air pendingin kondensor yang telah mengalami kenaikan suhu ditukar dengan air pendingin kondensor yang baru.

Proses pertukaran air pendingin kondensor dilakukan secara berkesinambungan selama proses penyulingan berlangsung. Proses pertukaran yang berkesinambungan membutuhkan air pendingin yang banyak yang sebanding dengan air pendingin yang dibuang dari kondensor. Air pendingin yang mengalami kenaikan suhu dan dikeluarkan dari kondensor dapat digunakan kembali jika air tersebut telah mengalami penurunan suhunya

Dalam tugas akhir ini penulis mencoba menganalisa mesin tebu dengan judul **“Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor Penyulingan Minyak Atsiri Pada Kapasitas 5 Kilogram”**.

Di kota Sumatera Utara khususnya di wilayah Binjai Kabupaten Langkat Sumatera Utara, terdapat beberapa petani daun nilam yang mayoritas belum mengetahui tata cara penyulingan yang baik dan benar. Alasan saya tertarik pada judul ini karena banyaknya masalah yang kerap di jumpai adalah buruknya proses penyulingan mengakibatkan kualitas minyak yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut permasalahan yang timbul pada proses bagaimana cara menganalisis perpindahan panas pada penyulingan minyak atsiri pada kapasitas 5 kilogram?

### 1.3 Ruang Lingkup

Perpindahan panas pada alat penyulingan ke bagian sistem pendingin (kondensor) tentunya akan berpengaruh besar kepada kualitas minyak atsiri tersebut.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perpindahan panas pada kondensor penyulingan minyak atsiri pada kapasitas 5 kilogram.

### 1.5 Manfaat

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat berguna untuk pihak –pihak yang terkait. Terutama bagi para produksi minyak atsiri, sebagai acuan dalam mengembangkan minyak yang lebih berkualitas dan optimal.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Proses Produksi Konvensional Penyulingan**

Minyak atsiri umumnya diperoleh dengan cara penyulingan. Penyulingan adalah suatu proses pemisahan komponen-komponen dari minyak nilam atau bahan lainnya berdasarkan perbedaan titik uap dari dua jenis atau lebih komponen. Selama proses penyulingan, campuran uap air dan uap minyak atsiri akan menetes terus menerus hingga tetesan minyak terakhir (Guenther, 2007).

Penyulingan sistem uap (steam distillation) merupakan metode yang banyak digunakan untuk mendapatkan minyak nilam. Prinsip kerja dari penyulingan uap adalah dengan cara memanaskan air hingga menjadi uap dan mengalirkannya kedalam ketel suling untuk mengekstrak minyak dari bahan bakunya tanpa bahan tersebut terendam dalam air. Saat ini, sebagian besar peralatan suling uap yang ada di masyarakat dan petani penyuling minyak nilam masih menggunakan ketel suling konvensional/ tradisional yang sangat sederhana. Ketel suling konvensional ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya:

1. unit boiler berbentuk tabung tanpa dilengkapi dengan pipa-pipa api (fire tube) sehingga memerlukan waktu yang lama untuk memanaskan air hingga berubah menjadi fasa uap;
2. proses penyulingan minyak nilam memerlukan waktu yang lama (antara 10-12 jam);
3. tidak dilengkapi dengan sistem pemanas lanjut (superheater) sehingga temperatur uap yang dialirkan ke dalam ketel suling masih rendah dan Tidak mampu menembus dan mengekstrak minyak dari batang tanaman nilam;
4. tungku bakar hanya didesain menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar utama
5. sistem pendinginan (kondensor) belum optimum sehingga temperatur minyak nilam yang keluar dari ketel suling masih tinggi.

Adanya kelemahan-kelemahan tersebut menyebabkan proses penyulingan minyak nilam belum efisien karena konsumsi bahan bakar dan biaya operasional yang relatif tinggi serta rendemen minyak nilam yang tidak maksimal.



Gambar 2.1 Alat Penyulingan tradisional

Sumber : (<https://regional.kompas.com/read/2018/09/28/14052141/tadinya-dibuang-ranting-dan-daun-lada-kini-diolah-jadi-minyak-atsiri?page=all>)

## 2.2 Daun Nilam

Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) adalah suatu semak tropis penghasil sejenis Minyak atsiri yang dinamakan sama (minyak nilam). Dalam perdagangan internasional, minyak nilam dikenal sebagai minyak *patchouli* (dari bahasa Tamil *patchai* (hijau) dan *ellai* (daun), karena minyaknya disuling dari daun). Aroma minyak nilam dikenal 'berat' dan 'kuat' dan telah berabad-abad digunakan sebagai wangi-wangian (parfum) dan bahan dupa atau setinggi pada tradisi timur. Harga jual minyak nilam termasuk yang tertinggi apabila dibandingkan dengan minyak atsiri lainnya (Jayanudin & Hartono, 2011)

Tanaman Nilam selain minyak nilamnya yang bermanfaat, di India daun kering nilam juga digunakan sebagai pengharum pakaian dan permadani. Bahkan air rebusan atau jus daun nilam kabarnya dapat diminum sebagai obat batuk dan asma. Remasanakar dapat digunakan untuk mengobati rematik, dengan cara

dioleskan pada bagian yang sakit, bahkan juga manjur untuk obat bisul dan pening kepala. Demikian pula remasan daun nilam dapat digunakan sebagai obat dengan jalan dioleskan pada bagian yang sakit (Hidayat dan Sutrisno, 2006). Di Indonesia terdapat tiga jenis nilam yang dapat dibedakan dari karakter morfologinya, kandungan dan kualitas minyak dan ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik. Menurut Guenther (1948), ketiga jenis nilam tersebut adalah :

1. *P. cablin* Benth. Syn. *P. patchouli* var. *Suavis* Hook disebut nilam Aceh
2. *P. heyneanus* Benth disebut nilam jawa
3. *P. hortensis* Becker disebut nilam sabun

Diantara ketiga jenis nilam tersebut, nilam langkat dan nilam sabun tak berbunga. Nilam langkat merupakan nilam yang cukup luas penyebarannya dan banyak dibudidayakan karena kadar minyak dan kualitas minyaknya lebih tinggi (Nuryani, 2006).



Gambar 2.2 Daun Nilam

Sumber (<https://www.liputan6.com/citizen6/read/3925247/10-manfaat-tanaman-nilam-untuk-kesehatan-salah-satunya-mencegah-infeksi>)

### 2.3 Ketel

Untuk mendapatkan kualitas minyak nilam yang optimum, ketel penyulingan (ekstraktor) atau Retort, harus terbuat dari material yang tidak menimbulkan kontaminasi dengan nilam. Berikut adalah hirarki material yang baik:

1. *Glass/Pyrex* (Hanya mungkin untuk skala laboratorium)
2. Material *Pharmaceutical Grade* (Stainlesssteel AISI 304)
3. Material *Food Grade* (Stainlesssteel AISI 304)
4. Material *Mild Mild Steel Galvanized*
5. Material *Mild Steel*

Bahan yang baik di pakai yaitu Material no.3 yaitu Material Food Grade dari bahan Stainlesssteel Standard AISI 304. Perhatikan untuk daerah yang mempunyai temperatur lingkungan dingin (pegunungan) harus diberikan sekat kalor, tujuannya selama proses ketel diperlakukan adiabatic, agar jumlah kalor (panas) yang hilang kelingkungan tidak terlalu tinggi. Untuk isolasi kalornya bisa dipilih glasswool atau jika ingin lebih praktis juga bisa dipilih armafex sheet (busa lembaran biasanya dipakai sekat kalor pada peralatan ac tapi untuk jenis sekat kalor panas). Pasang accessories untuk kontrol dan safety device minimal berupa: Thermometer, Pressure Gauge dan Safety Valve. Ini penting karena Ketel Uap adalah termasuk peralatan bejana bertekanan (Vessel Pressure). Thermometer dan pressure gauge adalah untuk kontrol proses sedangkan safety valve lebih dominan untuk keselamatan kerja terutama operator. Dengan adanya safety valve kemungkinan ketel meledak dapat dihindari. Perhatikan konstruksi pembuatan ketel uap. Ketel yang mempunyai diameter diatas 300 mm, dibuat dengan cara pengerolan stainlesssteel plate dengan cara penyambungan riveting atau welding (pengelasan) tetapi saat ini teknik pengelasan yang lebih efisien. Setiap sambungan pengelasan adalah kritis. Untuk itu check hasil pengelasannya bila diperlukan uji kekuatan tarik dari material. Besar kecilnya ketel uap dasar pertimbangannya adalah dengan kapasitas produksi yang direncanakan. Semakin besar diameter, semakin besar tekanan kerja, semakin tinggi temperatur kerja maka akan menyebabkan semakin besar pula tegangan yang terjadi dan

harus diperhitungkan tegangan yang terjadi kearah lateral yang memanjang sepanjang ketel uap.

### 2.3.1 *Stainless steel*

*Stainless steel* dapat bertahan dari serangan karat karena interaksi bahan-bahan campurannya dengan alam. *Stainless steel* terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan sering kali nikel dan molibdenum dalam jumlah yang cukup banyak. Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk dari proses karat atau korosi yaitu metal oksida dan hidroksida. Krom, bereaksi dengan oksigen, memegang peranan penting dalam pembentukan lapisan korosi ini. Pada kenyataannya, semua *stainless steel* mengandung paling sedikit 10% krom. Keberadaan lapisan korosi yang tipis ini mencegah proses korosi berikutnya dengan berlaku sebagai pelindung yang menghalangi oksigen dan air bersentuhan dengan permukaan logam. Besi biasa, berbeda dengan *stainless steel*, permukaannya tidak dilindungi apapun sehingga mudah bereaksi dengan oksigen dan membentuk lapisan  $Fe_2O_3$  atau hidroksida yang terus menerus bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Lapisan korosi ini makin lama makin menebal dan dikenal sebagai karat (Widiantara, 2010)



Gambar 2.3 Ketel *Stainless Steel*

### 2.3.2 Bentuk Alur Penyulingan

Penyuling ini dibuat dengan menggunakan pipa alur spiral atau lingkaran yang tersusun menurun dalam tangki pendingin. Alur spiral adalah alur yang dibuat melingkar kebawah menggunakan bahan pipa *stainlees steel*. Alat ini mempunyai tujuan untuk mendinginkan uap panas yang melalui pipa sehingga menjadi cair kembali, umumnya digunakan sebagai alat penyulingan, misalnya pada alat penyulingan minyak nilam, alat penyulingan bioetanol, dan lain-lain. Dalam proses penyulingan ini untuk pendinginan uap tersebut menggunakan media air, karena air mudah menyerap dan melepas panas



Gambar 2.4 Pipa Alur Spiral

Sumber (<https://www.tokopedia.com/sepebi/pipa-spiral-kondensor-destilasi-stainless-steel>)

### 2.3.3 Siklus Bak Air

Siklus Bak air adalah Sirkulasi air yang menggambarkan pergerakan molekul air dari kondenser ke bak air dan sebaliknya, yang tidak pernah berhenti sehingga membentuk rangkaian melingkar perjalanan molekul air di bak air yang disebut siklus. Siklus bak air ini digunakan agar kondensor (pendingin) tidak terlalu cepat panas



Gambar 2.5 Siklus bak air

## 2.4 Tekanan

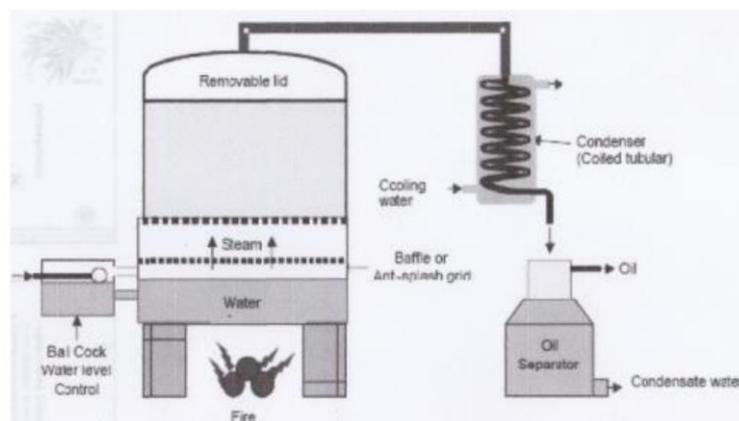
Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas. Satuan tekanan bergantung pada satuan tekanan dan satuan luas. Pada umumnya satuan tekanan yang digunakan  $\text{kg/cm}^2$ . Sering juga tekanan digunakan dengan satuan atmosfer dan ditulis dengan atm, dimana  $1 \text{ atm} = 1 \text{ kg/cm}^2$ . Hukum Charles mengatakan volume suatu massa gas sempurna berubah dengan berbanding langsung dengan temperatur mutlak, jika tekanan mutlak konstan. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa volume, temperatur dan tekanan berubah secara bersamaan (Daryus, 2007).

### 2.4.1 Metode Penyulingan Uap Dan Air

Penyulingan merupakan cara untuk memisahkan dan memurnikan unsur unsur organik. Biasanya berbentuk cairan pada suhu ruangan meskipun bahan padat dapat didistilasi pada suhu tinggi, misalnya  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Meski begitu, banyak kandungan unsur organik terdekomposisi pada temperatur yang tinggi. Penyulingan dengan tekanan rendah ( $\sim 1 \text{ torr}$  atau  $1/760 \text{ atm}$ ), bahan-bahan mendidih pada suhu terendah dan meminimalkan proses dekomposisi. Penyulingan uap merupakan cara lain untuk penyulingan dengan suhu tinggi dan berguna untuk mengisolasi minyak, zat lilin dan lemak. Cairan organik apapun yang tercampur dengan air dapat didistilasi pada suhu sekitar  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , titik didih air (Amenaghawon, 2014).

Pada metode penyulingan uap dan air, bahan yang diolah diletakkan di atas rak-rak atau saringan berlubang. Ketel suling diisi dengan air sampai permukaan air berada tidak jauh di bawah saringan. Air dapat dipanaskan dengan berbagai cara yaitu dengan uap jenuh yang basah dan bertekanan rendah. Ciri khas dari metode penyulingan uap dan air adalah bahwa uap selalu dalam keadaan basah, jenuh dan tidak terlalu panas, bahan yang disuling hanya berhubungan dengan uap dan tidak dengan air panas (Indriyanti, 2013).

Distilasi uap dalam baja adalah metode ekstraksi yang banyak digunakan. Material tanaman yang mengandung minyak atsiri diletakkan dalam bejana distilasi, selanjutnya dialirkan uap panas. Sel aromatis melepaskan molekul minyak atsiri. Campuran dari uap air dan uap minyak atsiri mengalir melalui kondensor (pendingin) sehingga mengalami kondensasi menjadi fase cair. Dari kondensor cairan dialirkan menuju separator untuk memisahkan air dan minyak atsiri.



Gambar 2.6 Penyulingan Uap dan Air

Sumber (<https://vagusnet.com/cara-pembuatan-minyak-atsiri/>)

Prinsip distilasi uap dan air adalah dengan mengukus bahan tanaman yang mengandung minyak atsiri. Proses pembersihan bahan setelah distilasi cepat karena bahan tidak tercelup dalam air panas, lebih cepat jika bahan berada dalam keranjang yang dapat diangkat dengan derek (Wijana, 2013).

Percobaan untuk penyulingan minyak atsiri yang berasal dari tanaman nilam pada umumnya tidak dapat dikerjakan dengan mudah. Umumnya, kebanyakan unsur-unsur dari minyak memerlukan perebusan suhu tinggi dan akan

terdekomposisi di bawah suhu perebusan tinggi untuk dapat mendidihkannya. Penyulingan dengan uap merupakan cara yang sesuai untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Pada penyulingan uap, wadah dimasukkan uap yang mana membawa uap minyak ke bagian atas wadah distilasi dan ke kondensor, dimana minyak dan air terkondensasi. Penyulingan dengan uap bekerja karena air dan minyak bercampur. Karena itu, masing-masing mendidih sempurna (Mulvaney, 2007).

## 2.5 Heat Exchanger (HE)

Penukar panas adalah peralatan utama untuk mentransfer panas antara aliran panas dan dingin. Alat penukar panas memiliki bagian terpisah untuk dua aliran dan beroperasi secara terus menerus, di mana panas dan aliran dingin melewati bergantian melalui saluran yang sama dan pertukaran panas dengan massa peralatan, yang sengaja dibuat dengan kapasitas panas. Berikut adalah beberapa jenis tipe heat exchanger yang biasa digunakan, yaitu:

### 1. Plate Heat Exchanger

Alat penukar panas tipe pelat dan bingkai terdiri dari paket pelat-pelat tegak lurus, bergelombang, atau profil lain. Pelat dan sekat disatukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat terdapat lubang pengalir fluida. Tutup jarak dan sekat menghasilkan koefisien tinggi di kedua sisi dengan faktor pelat dan bingkai dan menghasilkan emisi yang rendah.

### 2. Spiral Heat Exchanger

Heat exchanger tipe ini menggunakan desain spiral pada susunan pelatnya, yang berbentuk gulungan tabung helik. Jarak antara lembar saluran spiral dijaga dengan menggunakan paku pengatur jarak yang dilas sebelum bergulung. Begitu paket spiral utama telah digulung, alternatif atas dan bawah yang dilas dan setiap ujungnya ditutup oleh penutup berbentuk kerucut. Aliran fluida pada heat exchanger tipe ini menggunakan aliran fluida spiral mengalir dua arah. Heat exchanger tipe ini sangat cocok untuk fluida dengan viskositas tinggi. Prosedur desain untuk tipe spiral ini disajikan oleh Minton (1970) dan Walker (1982).

### 3. Shell Dan Tube Heat Exchanger

Dengan jenis yang sama alat ini digunakan untuk cairan panas dan dingin, digunakan terutama untuk gas. Ukuran permukaan alat ini sebesar  $1200 \text{ m}^2 / \text{m}^3$  ( $353 \text{ ft}^2 / \text{ft}^3$ ). Besar permukaan dapat diperpanjang sekitar empat kali. Jenis heat exchanger ini telah dirancang untuk tekanan sampai 80 atm atau lebih, dimana panas mengalir dari dalam ke luar secara konstan (Wallas, 1988).

Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi suatu perpindahan panas (kalor) antara dua buah fluida atau lebih yang memiliki perbedaan temperature yaitu fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida yang bertemperatur rendah, perpindahan panas tersebut terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Perpindahan panas secara langsung adalah proses perpindahan panas dari fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida yang bertemperatur rendah tanpa adanya pemisahan didalam ruangan tertentu, sedangkan perpindahan panas secara tidak langsung adalah proses perpindahan panas dari fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida bertemperatur rendah dengan menggunakan media perantara seperti pipa, pelat, atau peralatan yang lain. Dalam hal ini alat penukar kalor yang direncanakan menggunakan proses perpindahan panas secara tidak langsung didalam suatu ruangan tertentu (Kondensor).

#### 2.5.1 Klasifikasi Heat Exchanger

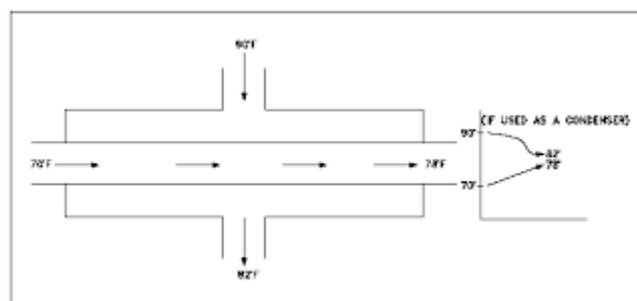
Heat Exchanger dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelompok sebagai berikut

1. Berdasarkan perpindahan panas
  - a. Perpindahan kalor secara langsung
  - b. Perpindahan kalor tidak langsung
2. Berdasarkan kontruksi
  - a. Kontruksi tabung
  - b. Kontruksi tipe plat
  - c. Kontruksi dengan luas permukaan diperluas
  - d. Kontruksi *regenerative*

1. Berdasarkan jenis aliran
  - a. Alat penukar kalor aliran sejaja (*parallel flow*)
  - b. Alat penukar kalor berlawanan (*counter flow*)
  - c. Alat penukar kalor silang (*cross flow*)
2. Berdasarkan pengaturan aliran
  - a. Aliran dengan satu *pass*
  - b. Aliran dengan *multi pass*
3. Berdasarkan banyaknya fluida yang digunakan
  - a. Dua jenis fluida
  - b. Tiga jenis fluida atau lebih
4. Berdasarkan mekanisme perpindahan panas
  - a. Konveksi satu fasa
  - b. Konveksi dua fasa
  - c. Kombinasi perpindahan panas secara konveksi dan radiasi (Yunus A, 2003)

#### 2.5.2 Cross Flow (Aliran Berlawanan) APK

Bila kedua fluida yang mengalir sepanjang permukaan maka perpindahan panas akan bergerak secara tegak lurus sehingga alat penukar kalor ini disebut jenis aliran silang (Cross flow). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.7 Cross Flow (Aliran Berlawanan)

Sumber : (<http://id.jiankaichemsp.com/info/cross-flow-type-heat-exchanger-21089153.html>)

Karena APK pada penelitian adalah APK pipa ganda efektivitas APK dapat dihitung dari persamaan dari persamaan berikut:

Efektivitas APK aliran searah

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+c)]}{1+c}$$

Efektivitas APK aliran berlawanan

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1 - c \exp[-NTU(1-c)]}$$

Temperatur air panas keluar APK

$$Th_{out} = Th_{in} - \frac{Q_{nyata}}{C_h}$$

Temperatur udara keluar APK

$$Tc_{out} = Tc_{in} + \frac{Q_{nyata}}{C_c}$$

Perhitungan LMTD

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Aliran searah

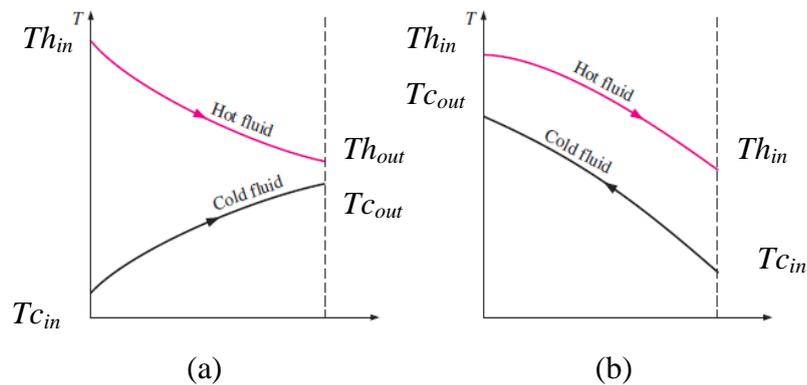
$$\Delta T_1 = Th_{in} - Tc_{in}$$

$$\Delta T_2 = Th_{out} - Tc_{out}$$

Aliran berlawanan

$$\Delta T_1 = Th_{in} - Tc_{out}$$

$$\Delta T_2 = Th_{out} - Tc_{in}$$



Gambar 2.8 Arah aliran fluida didalam APK Pipa (Tinker, 1951)

Gambar a, Dimana arah aliran air panas dan arah aliran udara satu arah, sehingga panas air panas yang diserap udara tidak terlalu banyak apabila dibandingkan dengan arah berlawanan.

Gambar b, Dimana arah aliran air panas dan arah aliran udara berlawanan, sehingga temperatur air panas keluar menurun dan temperatur udara keluar naik

## 2.6 Parameter Kualitas Minyak Atsiri

Menurut Feryanto (2007) beberapa parameter yang biasanya dijadikan standar untuk mengenali kualitas minyak atsiri adalah sebagai berikut :

### A. Warna dan Bau

Untuk pengamatan warna didasarkan pada pengamatan visual dengan menggunakan indra penglihatan langsung terhadap contoh minyak nilam. Sedangkan untuk parameter bau didasarkan pada pengamatan visual dengan menggunakan indra penciuman langsung terhadap contoh minyak nilam.

### B. Berat Jenis

Berat jenis merupakan salah satu kriteria penting dalam menentukan mutu dan kemurnian minyak atsiri. Nilai berat jenis minyak atsiri didefinisikan sebagai perbandingan antara berat minyak dengan berat air pada volume air yang sama dengan volume minyak pada yang sama pula. Berat jenis sering dihubungkan dengan fraksi berat komponen-komponen yang terkandung didalamnya. Semakin besar fraksi berat yang terkandung

dalam minyak, maka semakin besar pula nilai densitasnya. Biasanya berat jenis komponen terpen teroksigenasi lebih besar dibandingkan dengan terpen tak teroksigenasi.

#### C. Indeks Bias

Indeks bias merupakan perbandingan antara kecepatan cahaya di dalam udara dengan kecepatan cahaya didalam zat tersebut pada suhu tertentu. Indeks bias minyak atsiri berhubungan erat dengan komponen-komponen yang tersusun dalam minyak atsiri yang dihasilkan. Sama halnya dengan berat jenis dimana komponen penyusun minyak atsiri dapat mempengaruhi nilai indeks biasnya. Semakin banyak komponen berantai panjang seperti sesquiterpen atau komponen bergugus oksigen ikut tersuling, maka kerapatan medium minyak atsiri akan bertambah sehingga cahaya yang datang akan lebih sukar untuk dibiaskan. Hal ini menyebabkan indeks bias minyak lebih besar. Menurut Guenther, nilai indeks juga dipengaruhi salah satunya dengan adanya air dalam kandungan minyak nilam tersebut. Semakin banyak kandungan airnya, maka semakin kecil nilai indeks biasnya. Ini karena sifat dari air yang mudah untuk membiaskan cahaya yang datang. Jadi minyak atsiri dengan nilai indeks bias yang besar lebih bagus dibandingkan dengan minyak atsiri dengan nilai indeks bias yang kecil.

#### D. Bilangan Asam

Analisa bilangan asam dalam minyak atsiri menyatakan besarnya gugus asam karboksilat yang terbentuk akibat adanya oksidasi. Bilangan asam yang semakin besar dapat mempengaruhi terhadap kualitas minyak nilam, yaitu dapat merubah bau khas dari minyak nilam itu sendiri. Perubahan bau ini dapat disebabkan oleh beberapa hal dan salah satunya adalah pada lamanya penyimpanan minyak, dan adanya kontak antara minyak nilam yang dihasilkan tersebut dengan sinar dan udara disekitar pada saat penyimpanan di dalam botol.

## 2.7 Perpindahan Panas

Perpindahan Panas adalah ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas diantara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas/dingin). Perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan suhu. Panas akan mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat suhu yang lebih rendah (J.P. Holman,1994)

### 2.7.1 Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari suatu tempat ke tempat akibat adanya perbedaan temperatur. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.(J.P. Holman,1994).

### 2.7.2 Perhitungan Perpindahan Panas

Konduksi adalah perpindahan panas suatu benda yang partikel-partikel dalam benda tersebut mentransfer energi melalui tumbukan. Konduksi panas hanya terjadi apabila terdapat perbedaan temperatur. Pada perpindahan panas secara konduksi, kalor / panas mengalir tanpa disertai gerakan zat, tetapi melalui satu jenis zat. Tidak semua bahan dapat menghantar kalor sama sepenuhnya Untuk mencari perpindahan panas secara konduksi pada pipa penyuling. Debit aliran fluida dapat dinyatakan secara sistematis dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = A \cdot u_m = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

Keterangan

A = luas penampang(m<sup>2</sup>)

Q = Debit aliran fluida (m<sup>3</sup>/s)

V = volume fluida yang mengalir (m<sup>3</sup>)

t = waktu (detik, s)

$u_m$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

### 2.7.3 Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida di dalam Pipa

#### a. Aliran Laminar

Aliran ini terjadi apabila nilai  $Re < 2300$ . Pada saat aliran internal *circular tube* dengan karakteristik *uniform surface heat flux* dan laminar *fully develop condition*, nusselt number nya konstan dan tidak bergantung pada

$Re$  ,  $Pr$  , dan axial location.

$$Nu_D = 1,86 \left[ \frac{ReDPr}{L} \right]^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (2.2)$$

#### b. Aliran Turbulen

Aliran ini terjadi apabila nilai  $Re > 2300$ . Untuk menghitung nusselt number nya dapat menggunakan persamaan Dittus-Boelter. Dengan adanya perbedaan temperatur  $T_s$  dan  $T_m$  menjadikan salah satu faktor proses heating atau cooling

$$Nu_D = 0,023 Re_D^{\frac{4}{5}} Pr^n$$

$$\left[ \begin{array}{l} 0,6 \leq Pr \leq 160 \\ Re_D \geq 10000 \\ \frac{L}{D} \geq 10 \end{array} \right]$$

Dimana  $n = 0,4$  untuk proses *heating* ( $T_s > T_m$ ) dan  $n =$

$0,3$  untuk proses *cooling* ( $T_s < T_m$ ).

#### 2.7.4 Kondensor (Pendingin)

Kondensor adalah sebuah alat yang digunakan untuk membuang kalor ke lingkungan, sehingga uap akan mengembun dan berubah fasa dari uap ke cair. Sebelum masuk ke kondenser refrigeran berupa uap yang bertemperatur dan bertekanan tinggi, sedangkan setelah keluar dari kondenser refrigeran berupa cairan jenuh yang bertemperatur lebih rendah dan bertekanan sama (tinggi) seperti sebelum masuk ke kondensor. (Siswoko & Bagus,2020)

Menurut konstruksinya Di dalam kondensor terdapat pipa-pipa yang disusun sedemikian rupa dan dialiri air sebagai pendingin serta ruangan hampa sebagai proses lajunya uap jenuh dari turbin. Karena uap jenuh bersinggungan dengan pipa-pipa dingin yang berisi air maka akan terjadi proses kondensasi sehingga hasil dari kondensasi tersebut dinamakan air kondensasi. Kondensor juga digunakan untuk menciptakan tekanan yang rendah pada exhaust turbine. Dengan tekanan yang rendah, maka uap jenuh dari exhaust turbine akan bergerak dengan mudah menuju kondensor.

Laju perpindahan panas pada kondensor merupakan kalor lepas pada sebuah siklus rankine. Kondensor yang air pendinginnya langsung dibuang, maka air yang berasal dari suplai air dilewatkan ke kondensor akan langsung dibuang atau ditampung di suatu tempat dan digunakan kembali. Alat ini berfungsi sebagai pengembun, kerjanya adalah merubah fasa uap kembali menjadi fasa cair, dengan cara pertukaran kalor antara uap dengan air dingin yang dialirkan diantara dinding kolom dan coil pendingin. Karena fungsinya sebagai penukar kalor maka alat ini juga sering disebut *Heat Exchanger*. Banyak tipe heat exchanger tetapi yang mempunyai efisiensi tinggi dan sering digunakan didalam industri kimia adalah jenis shell & tube. Aliran bisa diatur sesuai kebutuhan tetapi untuk penyulingan atsiri, guna mencapai pertukaran kalor yang baik aliran dibuat berlawanan arah (Counter Current). Heat Exchanger serta pemilihan Ukuran diameter pipa pendingin, Panjang pipa pendingin. Diameter kolom serta tinggi kolom serta kecepatan aliran air pendingin. Dalam sistem penyulingan Komponen ketel dan condenser merupakan dua komponen yang dapat menentukan efisiensi dalam hal ini adalah randemen minyak yang didapat. Proses pemisahan minyak tidak akan

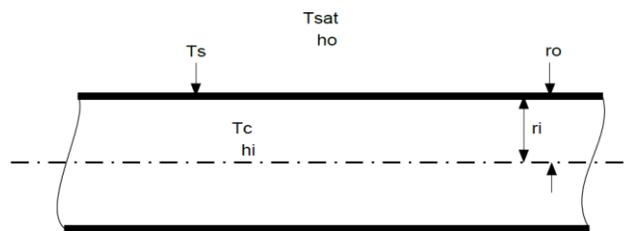
berlangsung baik jika campuran minyak nilam dengan air masih dalam keadaan panas, karena ada beberapa fraksi minyak ringan yang masih terlarut didalam cairan akan terbuang.

### 2.7.5 Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah di dalam medium yang bersinggungan langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan panas serta energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energi akan berpindah secara konduksi. (Hendartomo, 2005)

### 2.7.6 Temperatur Dinding Pipa

Sebelum melakukan perhitungan koefisien perpindahan panas kondensasi, perlu diketahui terlebih dahulu temperatur dinding pipa yaitu dengan cara iterasi. Harga koefisien perpindahan panas kondensasi dapat diketahui berdasarkan temperatur dinding perkiraan. Maka selanjutnya dilakukan perhitungan temperatur dinding pipa berdasarkan harga koefisien perpindahan panas kondensasi tadi. Kemudian harga temperatur dinding pipa hasil perhitungan dibandingkan dengan temperatur dinding pipa asumsi. Dari hasil perbandingan tersebut, didapatkan seberapa besar penyimpangan yang terjadi.



Gambar 2.9 Distribusi Temperatur Dinding Pipa

Beda temperatur yang bersilangan pada dinding pipa  $T_c$  sampai  $T_s$  diabaikan dan dianggap temperatur seluruh pipa sebagai temperatur luar dinding pipa  $T_{sat}$ .

$$q'' = \frac{\Delta t}{\Sigma R} = \frac{T_{sat} - T_c}{R_o + R_i} = \frac{T_s - T_c}{R_i}$$

$$\frac{T_{sat} - T_c}{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i \frac{D_i}{D_o}}} = \frac{T_s - T_c}{\frac{1}{h_i \frac{D_i}{D_o}}}$$

Temperatur dinding pipa dapat dihitung dengan persamaan :

$$T_s = T_c + \frac{h_o}{h_o + h_i \frac{D_i}{D_o}} (T_{sat} - T_c) \quad (2.3)$$

Lambang i menunjukkan di dalam pipa dan o menunjukkan diluar pipa.

Keterangan:

$T_s$  = Temperatur dinding pipa ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{sat}$  = Temperatur Uap Buang Turbin ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_c$  = Temperatur Air Pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ )

$h_o$  = Koefisien aliran pipa air ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

$h_i$  = koefisien aliran pipa uap air ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

### 2.7.7 Heat Exchanger dan NTU (Jumlah Satuan Perpindahan Panas)

Nilai NTU ini memberikan petunjuk mengenai ukuran penukar kalor.

Untuk mencarinya dapat menggunakan persamaan .Masing-masing ialah suhu pada dinding, koefisien perpindahan kalor menyeluruh di defenisikan sebagai berikut (J.P.Holman, Edisi 10):

$$q = UA \Delta T_{menyeluruh} \quad (2.4)$$

Koefisien perpindahan kalor meyeluruh bias didasarkan atas luas tabung, menurut selera perancang. Sesuai dengan itu :

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A(r_o/r_i)}{2\pi kL}} \quad (2.5)$$

$$NTU = \frac{U_i A}{C_{min}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$U_i$  = Koef.Perp.Panas Total ( $W/m^2K$ )

$A$  = Luas Perpindahan Panas ( $m^2$ )

$C_{min}$  = Laju Kapasitas Perpindahan Panas Minimal ( $W/K$ )

$q$  = Laju perpindahan kalor ( $^{\circ}C$ )

$\Delta T$  = temperature menyeluruh ( $^{\circ}C$ )

$r_o$  = jari-jari luar pipa (m)

$r_i$  = jari-jari dalam pipa (m)

$h_i$  = koefisien aliran pipa uap air ( $W/m^2.^{\circ}C$ )

### 2.7.8 Nilai Efektivitas

Efektivitas adalah nilai yang menunjukkan seberapa besar/baik suatu penukar kalor untuk menyerap panas. Efektivitas penukar kalor (heat exchanger effectiveness) untuk crossflow dirumuskan sebagai berikut (Holman, Edisi 10):

$$\epsilon = 1 - \exp \frac{[\exp(-NTUC_r n) - 1]}{C_r n} \quad (2.7)$$

dengan  $n = NTU^{-0,22}$

Keterangan :

$NTU$  = Jumlah Satuan Perpindahan Panas

$A$  = Luas perpindahan panas ( $m^2$ )

$C_r$  = Rasio antara  $C_{max}$  Dan  $C_{min}$

$C_{max}$  = Laju Kapasitas Perpindahan Panas Maksimal ( $W/K$ )

$C_{min}$  = Laju Kapasitas Perpindahan Panas Minimal ( $W/K$ )

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1. Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian proposal tugas akhir Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor Penyulingan Minyak Atsiri Pada Kapasitas 5 Kilogram, dilaksanakan di Jl alwasiyah No.5 A Kelurahan Simpang tiga Pekan kecamatan Perbaungan Kabupaten Serdang Begadai. Waktu Penelitian

Waktu Pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian ini dilakukan mulai dari tanggal disahkannya usulan judul oleh program studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 di bawah ini

Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

NO	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul	■					
2	Studi literatur	■	■				
3	Penulisan proposal		■	■			
4	Seminar proposal			■	■		
5	Pengambilan data dan menganalisa			■	■	■	
6	Penulisan laporan akhir			■	■	■	■
7	Seminar hasil dan sidang sarjana						■

### 3.2. Alat dan Bahan

#### 3.2.1. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan adalah

##### 1. Termokopel

Termokopel berfungsi untuk mengukur suhu fluida dingin dan fluida panas yang masuk dan keluar pada heat exchanger. Termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe T. Termokopel tipe ini merupakan persambungan antara dua logam yaitu tembaga ( Cu ) dengan suatu konstanta. Termokopel tipe T ini mampu untuk mengukur suhu antara - 184,4oC hingga 371,1oC. (Kern, D.Q. hal.299).



Gambar 3.1. Thermometer 4 channel

## 2. Stopwatch

Stopwatch berfungsi untuk mengukur lamanya waktu yang diperlukan dalam kegiatan.



Gambar 3.2 Stopwatch

## 3. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk menimbang massa sejumlah bahan baku.



Gambar 3.3 Timbangan

4. Gelas ukur 250 ml

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur dan menakar volume cairan



Gambar 3.4 gelas ukur 250 ml

3.2.2. Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Nilam

Daun nilam sebagai bahan yang digunakan untuk diambil minyaknya



Gambar 3.5 daun nilam

## 2. Air

Air berfungsi untuk penyulingan melalui penguapan panas bagian ketel, untuk di bagian kondensor fungsi air ialah untuk menetralkan perubahan panas agar kondensor tidak terlalu cepat panas



Gambar 3.6 Air

## 3. Gas LPG 3 kg

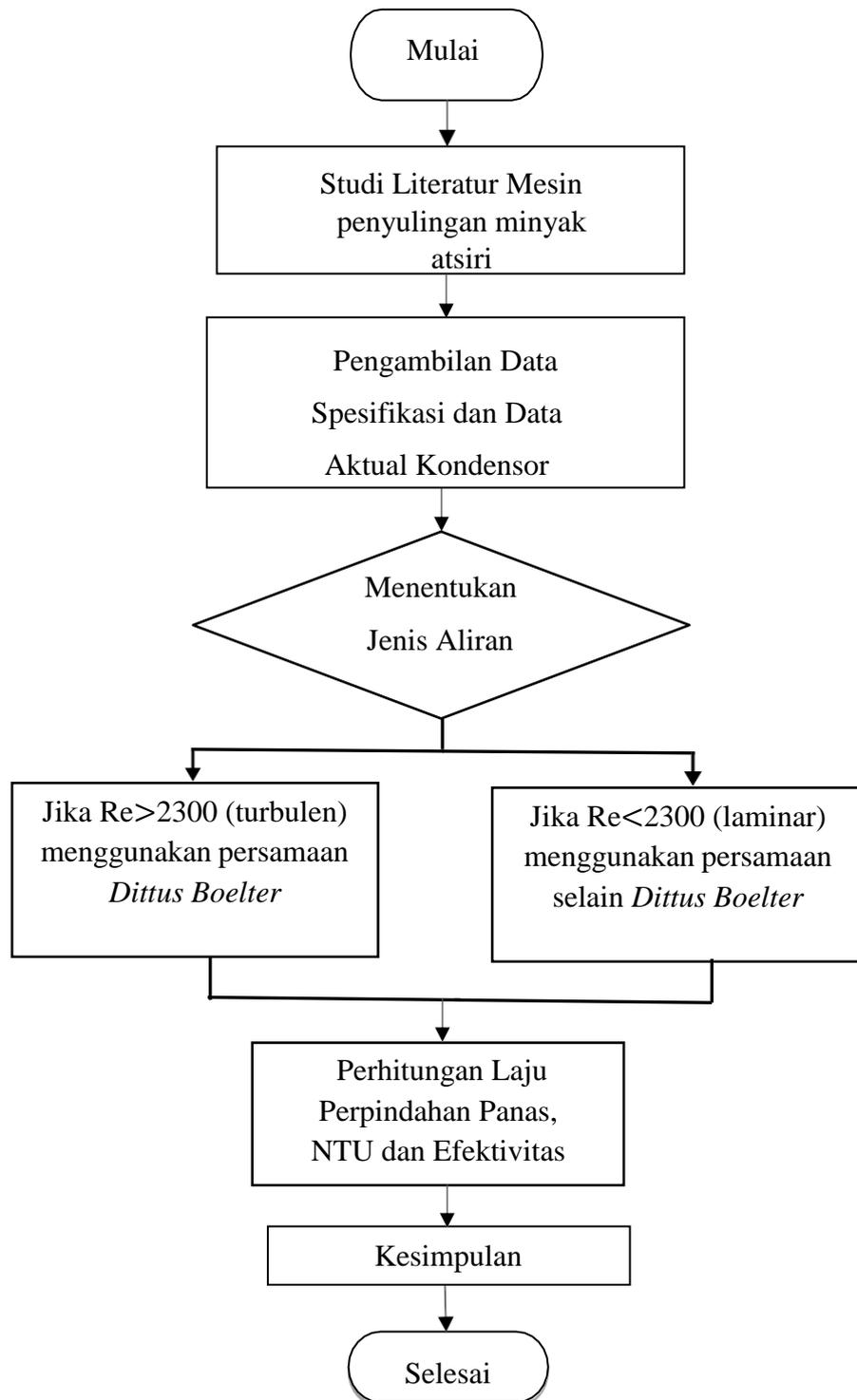
Gas 3 LPG kg berfungsi untuk mengkonversikan energi termal dari pembakaran bahan bakar menjadi energi uap, dimana proses pembakaran berlangsung didalam alat itu sendiri sehingga gas pembakaran bahan bakar yang terjadi langsung di gunakan sebagai fluida kerja untuk melakukan kerja mekanis serta untuk memanaskan air yang ada pada reservoir 1

sebagai fluida panas yang dialirkan kedalam heat exchanger. air yang dipanaskan menggunakan gas sampai pada suhu  $\pm 70^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ .



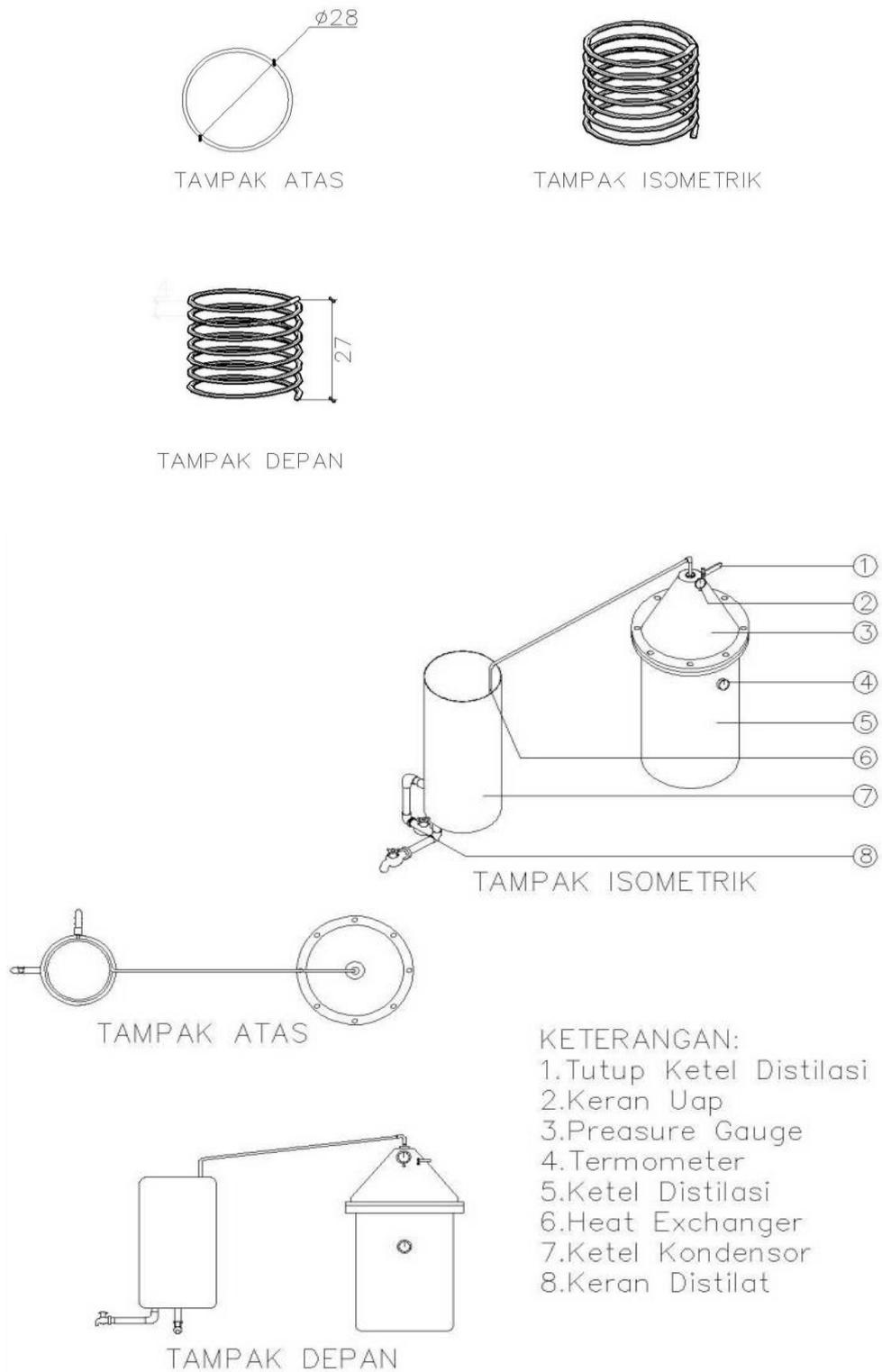
Gambar 3.7 gas LPG 3 kg

### 3.3 Bagan Alur Penelitian



Gambar 3.10 Bagan Alur Penelitian

### 3.4 Sketsa Kondensor Penyulingan Minyak Atsiri



Gambar 3.11. Sketsa Kondensor

### 3.5. Prosedur Penelitian.

Berikut adalah prosedur penelitian dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Mencincang/mencacah daun Nilam yang telah di cuci dan di bersihkan dari tanah dan kotoran lain.



Gambar 3.12 Proses Penyincangan Daun Nilam

2. Menjemur daun nilam memakan waktu selama 3 atau 4 hari. Sehingga kadar airnya berkurang sebanyak 50% dari berat awal.



Gambar 3.13 Penjemuran Daun Nilam

3. Menimbang berat daun nilam sesuai kapasitas yaitu 5 kilogram.

4. Masukkan air kedalam ketel serta kedalam kondensor sesuai dengan kapasitas yaitu 58 liter di bagian ketel dan 130 liter di bagian kondensor.



Gambar 3.14 Pengisian air pada ketel



Gambar 3.15 Pengisian air kondensor

5. Meletakkan saringan pemisah di bagian ketel agar air dan daun nilam tidak tercampur



Gambar 3.16 Memasang saringan

6. Masukkan daun nilam yang disiapkan dengan berat 5 kg pada ketel, kemudian stopwatch diamati beberapa waktu yang dibutuhkan alat dalam proses penyulingan tersebut.



Gambar 3.17 Proses penyulingan daun nilam

7. kemudian stopwatch diamati beberapa waktu yang dibutuhkan mesin dalam proses perasan tebu membutuhkan waktu 4 Jam



Gambar 3.18 Penghitungan waktu

8. Meletakkan alat thermocouple pada 4 titik di bagian kondensor, untuk mengamati suhu panas pada titik tersebut. nilam yang berada dalam ketel suling akan dipanasi oleh uap panas, uap yang telah memasuki seluruh nilam akan keluar melalui pipa ketel suling menuju kondensor, yang mana komponen yang terdapat di dalam uap yang telah melewati nilam dan menuju kondensor tersebut berisi air dan mengandung minyak.



Gambar 3.19 pemasangan 4 titik thermocouple

Keterangan thermocouple pada 4 titik di bagi pada bagian,yaitu :

- T1(uap masuk) pada bagian awal pipa uap dari ketel menuju kondensor
- T2(uap keluar) pada bagian akhir pipa uap kondensor hasil penyulingan
- T3(air masuk) pada bagian awal pipa air kondensor bersumber bak air pendingin
- T4 (air keluar) pada bagian akhir pipa air kondensor menuju siklus bak air pendingin

9. Mengukur hasil minyak nilam dengan menggunakan gelas ukur



Gambar 3.20 Hasil minyak nilam

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijabarkan tentang perhitungan dan pembahasan laju perpindahan panas dan efektivitas pada kondensor. Data yang diambil adalah data spesifikasi dan data aktual di lapangan. Data spesifikasi diambil dari *Thermal Calculation Sheet Determination for Condenser Surface Area* dari buku panduan J.P HOLMAN

### 4.1 Data Spesifikasi dan Data Aktual Pada Kondensor

Tabel 4.1 Data Spesifikasi dan Data Aktual Pada Kondensor

Desain Spesifikasi	
Material	Stainless Steel
Ketebalan	1 mm
Diameter pipa luar	2,5 cm
Diameter pipa dalam	2,3 cm
Jari-jari diameter	12,5 mm
Panjang pipa	522 cm
Jarak pipa ke kondensor	10 cm
Titik suhu 1 (uap masuk)	95 °C
Titik suhu 2 (uap keluar)	40,3 °C
Titik suhu 3 (air masuk)	37,2 °C
titik suhu 4 (air keluar)	28,2 °C
Titik suhu rata-rata	52,67 °C
Massa air	0,058 m <sup>3</sup>
Waktu proses hasil penyulingan	6000 s
Waktu sirkulasi pipa kondensor	534 s
Temperatur awal air	27 °C
Konduktivitas termal stainless steel	15,1

Tabel 4.2 Sifat-sifat Air (Zat –cair Jenuh)

°C	$c_p$ , kJ/kg. °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ , kg/m .s	$k$ , W/m . °C	Pr	1/m <sup>3</sup> . °C
0	4.225	999.8	$1.79 \times 10^{-3}$	0.566	13.25	$1.91 \times 10^9$
4.44	4.028	999.8	1.55	0.575	11.35	$6.34 \times 10^9$
10	4.195	999.8	1.31	0.585	9.4	$1.86 \times 10^{10}$
15.56	4.186	999.2	1.12	0.595	7.88	$1.46 \times 10^{10}$
21.11	4.179	998.6	$9.8 \times 10^{-4}$	0.604	6.78	$1.91 \times 10^{10}$
26.67	4.174	997.4	8.6	0.614	5.85	$2.48 \times 10^{10}$
32.22	4.174	995.8	7.65	0.623	5.12	$3.3 \times 10^{10}$
37.38	4.174	994.9	6.82	0.63	4.53	$4.19 \times 10^{10}$
43.33	4.174	993	6.16	0.637	4.04	$4.86 \times 10^{10}$
48.89	4.174	990.6	5.62	0.644	3.64	$5.66 \times 10^{10}$
54.44	4.179	988.8	5.13	0.649	3.3	$6.48 \times 10^{10}$
60	4.179	985.7	4.71	0.654	3.01	$7.62 \times 10^{10}$
65.55	4.183	983.3	4.3	0.659	2.73	$8.84 \times 10^{10}$
71.11	4.186	980.3	4.01	0.665	2.53	$9.85 \times 10^{10}$
76.67	4.191	977.3	3.72	0.668	2.33	$1.09 \times 10^{11}$
82.22	4.195	973.7	3.47	0.673	2.16	
87.78	4.199	970.2	3.27	0.675	2.03	
95	4.204	963.2	3.06	0.678	1.9	
104.4	4.216	946.7	2.67	0.684	1.66	
115.6	4.229	937.2	2.44	0.685	1.51	
126.7	4.25	928.1	2.19	0.665	1.36	
137.8	4.296	918	1.98	0.684	1.24	
148.9	4.371	859.4	1.86	0.667	1.17	
176.7	4.467	859.4	1.57	0.665	1.02	
204.4	4.585	825.7	1.36	0.646	1	
232.2	4.731	785.2	1.07	0.616	0.85	
260	5.024	735.5	$9.51 \times 10^{-5}$			
287.7	5.703	678.7	8.68			

Tabel 4.3 Sifat-sifat Gas pada tekanan Atmosfer (*lanjutan*)

Nilai  $\mu$ ,  $k$ ,  $c_p$ , dan Pr tidak terlalu luas bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk tekanan rentang yang cukup luas.

Uap air							
$T, K$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$c_p, \text{kJ/kg.}^\circ\text{C}$	$\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	$\nu, \text{m}^2/\text{s}$	$k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	$\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Pr
368	0.5863	2,060	$12.71 \times 10^{-6}$	$2.16 \times 10^{-5}$	0.0246	0.2036	1.06
400	0.5542	2,014	13.44	2.42	0.0261	0.2338	1.04
450	0.4902	1,980	15.25	3.11	0.0299	0.307	1.01
500	0.4405	1,985	17.04	3.86	0.0399	0.387	0.996
550	0.4005	1,997	18.84	4.7	0.0379	0.475	0.991
600	0.6325	2,026	20.67	5.66	0.0422	0.573	0.986
650	0.338	2,056	22.47	6.64	0.0464	0.666	0.995
700	0.314	2,085	24.26	7.72	0.0505	0.772	1
750	0.2931	2,119	26.04	8.88	0.0549	0.883	1.005
800	0.2739	2,152	27.86	10.2	0.0592	1.001	1.01
850	0.2759	2,186	29.69	11.52	0.0637	1.13	1.019

#### 4.2 Perhitungan Debit aliran fluida - kecepatan aliran

Persamaan debit aliran fluida yaitu :

$$Q = A \times u_m = \frac{V}{t}$$

Diketahui :

$$V = 0,058 \text{ m}^3$$

$$t = 9.20689 \text{ s}$$

Dikarenakan kecepatan aliran fluida belum diketahui, Maka:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0.058}{9.20689 \text{ s}} = 6,299625468 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk mengetahui kecepatan aliran fluida maka harus diketahui luas penampang, persamaan luas penampang :

$$A = 2\pi rL$$

$$A = 2 \times 3.14 \times 0,0125 \times 5,22$$

$$A = 0,40977 \text{ m}^2$$

Maka, persamaan kecepatan aliran fluida:

$$Q = A \times u_m$$

$$u_m = \frac{Q}{A}$$

$$u_m = \frac{6,299625468 \times 10^{-3}}{0,40977}$$

$$u_m = 0,0153736 \text{ m/s}$$

Keterangan

A = luas penampang(m<sup>2</sup>)

Q = Debit aliran fluida (m<sup>3</sup>/s)

V = volume fluida yang mengalir (m<sup>3</sup>)

t = waktu (detik, s)

$u_m$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

#### 4.3 Perhitungan Aliran pipa air

Untuk mengetahui aliran pipa air tersebut laminar atau turbulen. Maka, diketahui temperature air 37,2 °C persamaan yang dibutuhkan disesuaikan dengan data yang ada pada tabel 4.2

Diketahui:

$$\rho = 994,9 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pr} = 4,53$$

$$\mu = 6,82 \times 10^{-4} \text{ kg/ms}$$

$$k = 0.63 \text{ W/m. } ^\circ\text{C}$$

$$c_p = 4,174 \text{ kj/kg. } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_w = 52,67$$

$$d = 0,025 \text{ m}$$

$$L = 5,22 \text{ m}$$

Maka, persamaan Reynold:

$$Re = \frac{\rho u_m d}{\mu} = \frac{(994,9)(0,0153736)(0,025)}{6,82 \times 10^{-4}}$$

$$= 1209,79$$

Di karenakan kurang dari 2300 maka aliran tersebut laminar, maka persamaan laminar:

$$Nu_D = 1,86 \left[ \frac{Re D Pr d}{L} \right]^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

$$Nu_d = 1,86 \left[ \frac{(1209,79)(1,90)(0,025)}{5,22} \right]^{\frac{1}{3}} \left( \frac{3,06}{52,67} \right)^{0,14}$$

$$= 2,77804$$

$$h_o = \frac{k Nu_d}{d} = \frac{(0,678)(2,77804)}{0,025} = 75,3404448 \text{ w/m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.4 Perhitungan Aliran pipa uap air

Untuk mengetahui aliran pipa uap air tersebut laminar atau turbulen. Maka, diketahui temperature air 95 °C persamaan yang dibutuhkan disesuaikan dengan data yang ada pada tabel 4.3

$$\rho = 0,5836 \text{ kg/m}^3$$

$$Pr = 1,060$$

$$\mu = 12,71 \times 10^{-6} \text{ kg/ms}$$

$$k = 0,246 \text{ W/m} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_p = 2,060 \text{ kJ/kg} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_w = 52,67$$

$$d = 0,025 \text{ m}$$

$$L = 5,22 \text{ m}$$

Maka, persamaan Reynold:

$$Re = \frac{\rho u_m d}{\mu} = \frac{(0,5836)(0,0153736)(0,025)}{12,71 \times 10^{-6}}$$

$$= 1,76476 \times 10^{-10}$$

Di karenakan kurang dari 2300 maka aliran tersebut laminar, maka persamaan laminar:

$$Nu_D = 1,86 \left[ \frac{ReDPrd}{L} \right]^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

$$Nu_D = 1,86 \left[ \frac{(1,76476 \times 10^{-10})(1,060)(0,025)}{5,22} \right]^{\frac{1}{3}} \left( \frac{12,71}{52,67} \right)^{0,14}$$

$$= 4,2684754 \times 10^{-10}$$

$$h_i = \frac{k Nu_d}{d} = \frac{(0,246)(4,2684754 \times 10^{-10})}{0,025} = 4,200148 \times 10^{-9} \text{ w/m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4.5 Perhitungan dinding pipa

Persamaan dinding pipa yaitu:

$$T_s = T_c + \frac{h_o}{h_o + h_i \frac{D_i}{D_o}} (T_{sat} - T_c)$$

Diketahui:

$$T_c = 300,15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$h_o = 75,3404448 \text{ w/m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_i = 4,200148 \times 10^{-9} \text{ w/m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$D_i = 0,025 \text{ m}$$

$$D_o = 0,022 \text{ m}$$

$$T_{sat} = 368,15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_c = 300,15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Penyelesaian persamaan :

$$T_s = 300,15 + \frac{75,3404448}{75,3404448 + 4,200148 \times 10^{-9} \frac{0,025}{0,022}} \times (368,15 - 300,15)$$

$$T_s = 301,15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_s = 27,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Keterangan :

$T_s$  = Temperatur dinding pipa ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{sat}$  = Temperatur Uap Buang Turbin ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_c$  = Temperatur Air Pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ )

$h_o$  = Koefisien aliran pipa air ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

$h_i$  = koefisien aliran pipa uap air ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ )

$D_i$  = diameter dalam pipa (m)

$D_o$  = diameter luar pipa (m)

#### 4.6 Perhitungan Heat Capacity

Sebelum mencari efektifitas dari kondensor, harus diketahui terlebih dahulu heat capacity cold ( $C_c$ ) dan hot ( $C_h$ ), yaitu:

- Kapasitas panas pada turbulen air :

$$C_c = u_m \times c_p$$

$$C_c = 0,0153736 \times 4,174$$

$$C_c = 0,064630614 \text{ kJ}/\text{kh.K (Cmin)}$$

- Kapasitas panas pada turbulen uap air :

$$C_h = u_m \times c_p$$

$$C_h = 0,0153736 \times 2,060$$

$$C_h = 0,031669616 \text{ kJ}/\text{kh.K (Cmax)}$$

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

$$C_r = \frac{0,064630614}{0,031669616}$$

$$C_r = 2,04078$$

$C_{min}$  merupakan nilai terendah antara  $C_h$  dan  $C_c$  sehingga yang diambil sebagai  $C_{min}$  adalah  $C_h$  dan  $C_{max}$  adalah  $C_c$ . Setelah nilai  $C_{min}$  dan  $C_{max}$  diperoleh dapat dicari nilai NTU dan effectiveness pada zona cross flow

#### 4.7 Perhitungan koefisien perpindahan panas total

Persamaan koefisien perpindahan panas total:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A(r_o/r_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o}}$$

Diketahui :

$$h_o = 75,3404448 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_i = 4,200148 \times 10^{-9} \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 0,40977 \text{ m}^2$$

$$k = 15,1 \text{ W/m.K}$$

$$L = 5,22 \text{ m}$$

$$r_o = 0,11 \text{ m}$$

$$r_i = 0,0125 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{4,200148 \times 10^{-9}} + \frac{0,40977 \left(\frac{0,11}{0,0125}\right)}{2 \times 3,14 \times 15,1 \times 5,22} + \frac{1}{75,3404448}}$$
$$= 0,00728478 \text{ W/m}^2$$

Keterangan :

$h_o$  = Koefisien aliran pipa air ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$h_i$  = koefisien aliran pipa uap air ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$A$  = luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$k$  = Konduktivitas termal stainless steel ( $\text{W/m.K}$ )

$L$  = Panjang pipa

$r_o$  = jari- jari pipa bagian luar (m)

$r_i$  = jari- jari pipa bagian dalam (m)

#### 4.8 Menghitung laju Perpindahan Kalor

Sebelum menghitung laju perpindahan kalor maka harus di ketahui temperature menyeluruh terhadap kondensor, dengan persamaan yaitu:

$$\Delta T = T_i - T_h$$

Untuk mengetahui nilai  $\Delta T$  maka terlebih dahulu mencari rata-rata temperatur air dan uap air

Diketahui:

$$T_1 \text{ (uap masuk)} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 \text{ (uap keluar)} = 40,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 \text{ (air masuk)} = 37,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_4 \text{ (air keluar)} = 28,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U_i = 0,00728478 \text{ W/m}^2$$

Persamaan temperature rata-rata uap air :

$$T_i = \frac{(T_1 + T_2)}{2} = \frac{(95 + 40,3)}{2} = 67,65 \text{ }^\circ\text{C}$$

Persamaan temperature rata-rata air :

$$T_h = \frac{(T_3 + T_4)}{2} = \frac{(37,2 + 28,2)}{2} = 32,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Maka :

$$\Delta T = 67,5 - 32,7$$

$$\Delta T = 34,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Persamaan laju perpindahan kalor yaitu

$$q = U_i A \Delta T_{\text{menyeluruh}}$$

$$q = 0,00728478 \times 0,40977 \times 28,8$$

$$q = 0,010388093 \text{ }^\circ\text{C}$$

Keterangan :

$U_i$  = Koefisien Perpindahan Panas Total

$\Delta T$  = Perbedaan temperature antara kedua tempat fluida

$T_i$  = Temperature rata-rata uap air

$T_h$  = Temperature rata-rata air

$A$  = Luas Perpindahan panas

$q$  = Laju perpindahan kalor

#### 4.9 Perhitungan NTU

Persamaan NTU (satuan perpindahan panas) :

$$NTU = \frac{U_i A}{C_{min}}$$

Diketahui :

$$U_i = 0,00728478 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0,40977 \text{ m}^2$$

$$C_{min} = 0,064630614 \text{ kJ/kh.K}$$

Penyelesaian :

$$NTU = \frac{0,00728478 \times 0,40977}{0,064630614}$$

$$NTU = 0,0461868$$

#### 4.10 Perhitungan Nilai Efektivitas

Persamaan nilai efektivitas untuk aliran cross flow :

$$\epsilon = 1 - \exp \frac{[\exp(-NTUC_r n) - 1]}{C_r n}$$

$$\text{dengan } n = NTU^{-0,22}$$

penyelesaian :

$$\epsilon = 1 - \exp \frac{[\exp(-(0,0461868 \times 2,04078 \times 0,0461868^{-0,22}) - 1)]}{2,04078 \times 0,0461868^{-0,22}}$$

$$\epsilon = 0,185404$$

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun hasil kesimpulan yang diperoleh penelitian ini adalah :

1. Debit aliran fluida kondensor pada penyulingan minyak atsiri sebesar  $6,299625468 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
2. Efektivitas kondensor pada penyulingan minyak atsiri sebesar 0,185404
3. Laju perpindahan panas kondensor pada penyulingan minyak atsiri sebesar  $0,010388093 \text{ W}/^\circ\text{C}$
4. Laju perpindahan panas pada kondensor dipengaruhi oleh kondisi kevakuman kondensor. Semakin tinggi kevakuman kondensor maka steam semakin mudah menuju kondensor, sehingga meningkatkan performa dari kondensor
5. Laju aliran massa mempengaruhi laju perpindahan panas
6. Semakin banyak steam yang masuk ke dalam kondensor, maka semakin banyak pula air yang masuk ke dalam kondensor sebagai media pendinginan

#### 5.2 Saran

Pada perhitungan laju perpindahan panas dan efektifitas kondensor pada penyulingan minyak atsiri ini belum sepenuhnya sempurna. Hal ini dikarenakan masih banyak parameter-parameter yang tidak diikutkan dalam perhitungan, seperti factor plugging, pressure drop, beberapa zona dalam kondensor dan yang lainnya. Selain itu keterbatasan data yang diperoleh dari operasi penyulingan, sehingga membuat data yang dianalisis menggunakan asumsi-asumsi tertentu, seperti pada laju aliran massa pada sisi air pendingin, kapasitas aliran air pendingin, dan faktor koreksi yang mempengaruhi laju perpindahan panas. Sehingga menyebabkan berkurangnya keakuratan data. Dan sebaiknya menggunakan data pada beban yang sama.

Semoga pada penelitian kondensor kondensor pada penyulingan minyak atsiri ini selanjutnya mampu memberikan hasil yang lebih akurat. Selain itu, semoga tugas akhir ini mampu dijadikan referensi kepada peneliti lain untuk meneliti performa kondensor, serta memberikan manfaat

## DAFTAR PUSTAKA

- Jayanudin, J., & Hartono, R. (2011). Proses Penyulingan Minyak Atsiri Dengan Metode Uap Berbahan Baku Daun Nilam. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(1), 67. <https://doi.org/10.36055/tjst.v8i1.6706>
- Novita Setya H, Aprilia Budiarti, dan M. (2012). Proses Pengambilan Minyak Atsiri Dari Daun Nilam Dengan Pemanfaatan Gelombang Mikro (Microwave). *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 1–5.
- Setiawan, D., & Irawan, D. (2012). Analisa Pipa Alur Spiral Pada Alat Penyuling Bioetanol. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 1(2), 42445–42454. <https://doi.org/10.24127/trb.v1i2.654>
- Bachtiar, A. N. (2007). *Perencanaan runner turbin crossflow untuk sistem* (Vol. II). 2 Oktober 2007: Jurnal akademi.
- Cholis, N., Husen, A., & Akbar, M. I. (2020). Analisis pengaruh kecepatan aliran fluida dingin terhadap efektivitas shell and tube heat exchanger. *Bina Teknika*, 16(1), 1–10.
- Aulidya, V. (2016). *Rancang Bangun Alat Penyuling Minyak Atsiri Tipe Uap dan Air*.
- Miftahudin, B. A., Siswoko, S., & Hariyadi, H. (2021). Implementasi Kontrol PID Untuk Pengendalian Suhu Pada Tanki Kondensor Dalam Proses Destilasi Minyak Atsiri Kulit Jeruk Manis. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 7(1), 92. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v7i1.185>
- Ginting, S. (2004). *Pengaruh Lama Penyulingan Terhadap Rendemen Dan Mutu Minyak Atsiri Daun sereh wangi*. medan: fakultas pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Guenther, E. (1987). *Minyak Atsiri Jilid I*. (S. Ketaren, Trans.) jakarta: Universitas indonesia.
- Siregar. A. M., Siregar. C. A., dan Yani. M., (2019), “*Rekayasa Saluran Gas Buang Sepeda Motor Guna Mengurangi Pencemaran Udara*”, vol. 2, No. 2, sept 2019, 171-179, Medan : Universita Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Hayani, E. (2005). *Teknik Analisis Mutu Minyak Nilam*. Buletin Teknik Pertanian (Vol. 10). bogor.
- Hendartomo. (2005). *Pengambilan Minyak Atsiri Dari Daun dan Ranting Nilam Uap Berbahan Baku Daun Nilam*. Jogjakarta.
- Mahlinda, Vinno Arifiansyah, & Muhammad Dani Supardan. (2019). *Modifikasi Alat Penyuling Uap untuk Peningkatan Rendemen dan* (Vol. 14). Banda Aceh.

- Pratilastiarso, J. &. (2016). *Rancang Bangun PLTMH Menggunakan Turbin Crossflow Berkapasitas*. Yogyakarta.
- Bachtiar, & neris, a. (2007). *Perencanaan runner turbin crossflow untuk sistem PLTM di Desa Datar Kecamatan Lembang Jaya Kabupaten Solok (Vol. II)*. jurnal akademi.
- halimah, Putri, D., & Yulfi, Z. (2011). *Minyak Atsiri dari Tanaman Nilam (Pogostemon cablin Benth). Melalui Metode Fermentasi dan Hidrodestilas Serta Uji Bioaktfitasnya*. Prosiding Tugas Akhir Semester Genap.
- R.A.Siregar., & C.A.Siregar. (2019) *Pembangunan Turbin Angin Darrieus-Savonius Sebagai Ikon Wisata Laut Dan Kuliner Di Belawan*. Medan: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

# **LAMPIRAN**

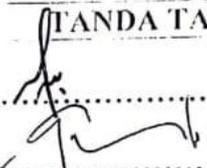
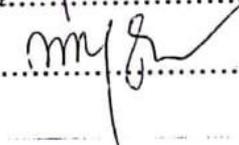
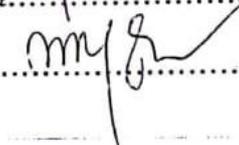
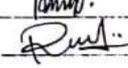
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2021 – 2022**

Peserta seminar

Nama : Dimas Pribadi

NPM : 1607230099

Judul Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Kondensor Pada Alat Penyulingan Minyak Atsari Kapasitas 5 Kilogram.

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: H.Muharnif.S.T.M.Sc	:	
Pemanding – I	: Chandra A Siregar.S.T.M.T	:	
Pemanding – II	: M.Yani.S.T.M.T	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230232	Muhammad Irfan	
2	1407230077	Riyanto Situmorang	
3	1607230058	Ricky Andreansyah	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 20 Shafar 1443 H

01 September 2021 M



**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Dimas Pribadi  
NPM : 1607230099  
Judul T.Akhir : Analisis Perpindahan Panas Kendensor Pada Alat Penyulingan Minyak Atsari Kapasitas 5 Kilogram.

Dosen Pembimbing – I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pembanding - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : M.Yani.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :  
..... *libat buku tugas akhir* .....
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....

Medan 20 Shafar 1443H  
01 Oktober 2021 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

Chandra A Siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Dimas Pribadi  
NPM : 1607230099  
Judul T.Akhir : Analisis Perpindahan Panas Kendensor Pada Alat Penyulingan Minyak Atsari Kapasitas 5 Kilogram.

Dosen Pembimbing -- I : H.Muharnif.S.T.M.Sc  
Dosen Pembanding - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : M.Yani.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

- Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

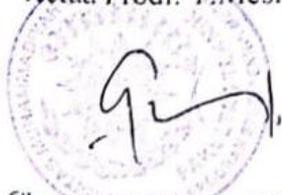
*Revisi bagian yg telah ditanda pd draft  
skripsi*

- Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 20 Shafar 1443H  
01 Oktober 2021 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T:Mesin



Chandra A Siregar.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

*M. Yani*  
M.Yani.S.T.M.T



**UMSU**

Integritas | Cerdas | Terpercaya

Menjawab surat ini agar disebutkan  
tanggal dan tanggalnya

**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12  
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN**  
**DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : /1886 /IIL3AU/UMSU-07/F/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 07 Desember 2020 dengan ini Menetapkan :

Nama : DIMAS PRIBADI  
Npm : 1607230099  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Semester : IX (Sembilan)  
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PERPINDAHAN PANAS KONDENSOR PADA ALAT  
PENYULINGAN MINYAK ATSIRI KAPASITAS 5 KILOGRAM  
Pembimbing : MUHARNIF ST. M.Sc.

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,  
Medan, 21 Rabiul Akhir 1442 H  
07 Desember 2020 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar ST.MT  
NIDN : 0101017202



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama	: Dimas Pribadi
Jenis Kelamin	: Laki – Laki
Tempat, Tanggal Lahir	: Pangkalan Batu, 16 januari 1998
Alamat	: Lingkungan 1 Tangkahan Serai, Pangkalan Batu
Agama	: Islam
E-mail	: <a href="mailto:dpribadi32@gmail.com">dpribadi32@gmail.com</a>
No.Hp	: 085156602181

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negri 050762	Tahun 2003 – 2009
2. SMP Negri 3 Babalan	Tahun 2009 – 2012
3. SMA Negri 1 Pangkalan Susu	Tahun 2012 – 2015
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2016 – 2021

## BIODATA PENULIS

PROVINSI SUMATERA UTARA  
KABUPATEN LANGKAT

NIK : 1205181501980002

Nama : DIMAS PRIBADI  
Tempat/Tgl Lahir : PANGKALAN BATU, 16-01-1998  
Jenis kelamin : LAKI-LAKI Gol. Darah :-  
Alamat : LINGK. LTKH SERAI  
RT/RW : 000/000  
Kec/Desa : PANGKALAN BATU  
Kecamatan : BRANDAN BARAT  
Agama : ISLAM  
Status Perkawinan: BELUM KAWIN  
Pekerjaan : PELAJAR/MAHASISWA  
Kewarganegaraan: WNI  
Berlaku Hingga : SEUMUR HIDUP



LANGKAT  
04-10-2017

